

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование влияния зазора между телом качения и стенкой сепаратора на "мертвый ход" в передачи с ПТК

УДК 621.83.05

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Яконен Владимир Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
старший преподаватель	Шибинский К. Г.			

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Якимова Т.Б.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель	Сечин А.И.	Д.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01	Арляпов А.Ю.	К.Т.Н.		

Томск – 2020 г.

Планируемые результаты обучения по ООП 15.04.01
«Автоматизация технологических процессов и производств
в машиностроении»

Код	Результат обучения
<i>Универсальные компетенции</i>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин.
P2	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/CAM/CAE продуктов.
P3	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения.
P4	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники.
P5	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.
P6	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента в качестве предприятия.
<i>Профессиональные компетенции</i>	
P7	Готовность следовать кодексу профессиональной этики и социальным нормам ведения инженерной деятельности.
P8	Готовность к непрерывному самосовершенствованию в инженерной педагогической и исследовательской деятельности и способность критически переосмысливать накопленный опыт.
P9	Способность организовывать и эффективно управлять работой коллектива, состоящего из специалистов различных направлений и квалификаций, а также готовность нести ответственность за результаты выполненной работы
P10	Способность осуществлять коммуникации в профессиональной среде, презентовать и защищать результаты инженерной и исследовательской деятельности, в том числе и на иностранном языке

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Материаловедение

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) _____
(Дата) Арляпов А.Ю.
(Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Яконен Владимир Сергеевич

Тема работы:

**Исследование влияния зазора между телом качения и стенкой сепаратора на
"мертвый ход" в передачи с ПТК**

Утверждена приказом директора (дата, номер)	59-118/С от 28.02.2020
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

- провод антенно-поворотного устройства;
- режим работы: периодический.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	1. Определение допуска профиля венца; 2. Определение допуска пазов сепаратора; 3. Расчет мертвого хода редуктора;
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	– Демонстрационный материал (презентация) - 18 слайдов PowerPoint

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Исследовательский	Шибинский К. Г.
Конструкторский	Шибинский К. Г.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Якимова Т.Б.
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Исследовательский (на английском языке)	Кобзева Н.А.

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

1.5 Люфты в передачах
1.5 Люфты в зубчатых передачах
1.5 Gear Backlashes
1.6 Backlashes in Teeth Gears

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	1.10.2018
--	-----------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шибинский Константин Григорьевич			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Яконен Владимир Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ82	Яконен Владимир Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Тема выпускной квалификационной работы: Исследование влияния зазора между телом качения и стенкой сепаратора на "мертвый ход" в передачи с ПТК

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является редуктор с ПТК, который преобразует крутящий момент. Механизм может применяться в антенно-поворотных устройствах. Рабочим местом при выполнении работы является кабинет технологического бюро ООО «СМК».
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)
<p style="text-align: center;">2. Производственная безопасность</p> <p>2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты;</p> <p>2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты; – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).</p>	<p>Вредными проявлениями факторов производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются:</p> <p>1. Высокая степень шума на рабочем месте. - Степень шума не превышает нормы.</p> <p>2. Недостаточная освещенность рабочей зоны и недостаток естественного освещения. - Для обеспечения требуемой освещенности устанавливаются лампы искусственного освещения.</p> <p>3. Пониженная влажность воздуха. - Требуется производить проветривание для обеспечения требуемого уровня влажности воздуха.</p> <p>Психофизиологическими факторами являются: Офисная, сидячая работа представляет собой использование ЭВМ, с помощью которой будет производится сбор информации, ее обработка, проведение расчетов. Во время работы автору требуется значительные затраты умственной, эмоциональной и физической энергии.</p>

	<p>Это требует комплексного решения проблем эргономики, гигиены и организации труда, регламентации режимов труда и отдыха. Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места.</p> <p>Опасными проявлениями факторов производственной среды, которые могут возникнуть на рабочем месте, являются: электрический ток. - Требуется обеспечить заземление.</p>
<p>3. Экологическая безопасность</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	<p>Устройство на этапе проектирования не оказывает влияния на экологию. К отходам можно отнести пустые картриджи, люминесцентные лампы, которые утилизируются на специальном предприятии, по специальной технологии.</p>
<p>4.Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	<p>Типичная ЧС – возникновение пожара, так как используется электрическое оборудование.</p> <p>При работе с оборудованием необходимо придерживаться ТБ основанной на Тои Р-45-068- 97. Кабинет оснащен средствами электрической пожарной сигнализации и пожаротушения.</p>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<p>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности</p> <p>1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства: рабочее время, нормы работы за компьютером, контролирующие органы регулируются Трудовым кодексом РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340- 03.</p> <p>2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны: оптимальное размещение используемых предметов в рабочей зоне регулируется СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.</p>
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООД ШБИП	Сечин Александр Иванович	Доктор технических наук		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Яконен Владимир Сергеевич		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM82	Яконен Владимир Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Ресурсы ООО «СМК» (производственная площадка). Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников ООО «СМК».
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 16%
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика проекта: - Определение трудоемкости работ; - Разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Расчет сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Сегментирование рынка
Оценка конкурентоспособности технических решений
Матрица SWOT
Календарный план-график

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Яконен Владимир Сергеевич		

Список принятых сокращений

АПУ – антенно-поворотное устройство;

ПТК – промежуточные тела качения;

ВППЗ – волновая передача с промежуточными звеньями;

ВППТК – волновая передача с промежуточными телами качения;

КПД - коэффициент полезного действия;

САПР – система автоматизированного проектирования;

ПО – программное обеспечение;

НР – научный руководитель;

НТР – научно-технический работник;

И – инженер;

ЧС – чрезвычайная ситуация;

ЗП – заработная плата;

СКУД – система контроля управления доступом.

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа имеет объем 124 с., включает в себя 36 рисунков, 38 формул, 8 таблиц, 20 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: мертвый ход, зазор, допуск, волновой редуктор с промежуточными телами качения, антенно-поворотное устройство.

Объектом исследования являются допуски при изготовлении деталей редуктора с ПТК антенно-поворотного устройства.

Целью работы является исследование мертвого хода редуктора с промежуточными телами качения.

Исследование мертвого хода проводилось на испытательном стенде.

Новизна результатов исследования заключается в разработки методики достижения кинематической точности волнового редуктора с промежуточными телами качения. Проведенные исследования показывают, что данные в несколько раз превосходят мертвый ход передачи относительно технических характеристик изделия.

Методика расчета допуска элементов редуктора может использоваться для определения мертвого хода привода антенно-поворотного устройства с другими параметрами или при проектировании новых типоразмеров таких устройств. Использование разработанной методики сократит время, затрачиваемое на проектирование новой техники.

Результаты работы используются в ООО «Сибирская машиностроительная компания» г. Томск при создании приводов на базе редукторов с промежуточными телами качения.

Оглавление:

Введение.....	12
1. Глава 1. Основные передачи в механике, их преимущества и недостатки, методы достижения точности этих передач	
1.1 Цилиндрическая передача.....	14
1.2 Коническая передача	19
1.3 Червячная передача (редуктор).....	19
1.4 Волновая передача	25
1.5 Люфты в передачах.....	32
1.6 Люфты в зубчатых передачах.....	33
1.7 Геометрические отношения в волновых передачах с ПТК.	41
1.8 Люфты в волновых передачах с ПТК и способы их устранения.....	42
Выводы по разделу.....	45
Глава 2. Конструкторско-технологическая часть.	
2.1 Анализ конструкции изделия	46
2.2 Расчет допуска профиля венца.....	50
2.3 Расчет допуска паза сепаратора.....	52
2.4 Расчет усилия измерения.....	55
2.5 Методика расчета мертвого хода в зависимости от точности элементов передачи с ПТК.....	56
Выводы по разделу.....	57
Глава 3. Исследовательская часть	
3.1 Описание способа контроля углового люфта.....	58
3.2 Методика исследования.....	60
3.3 Контроль и выборка исследуемых деталей.....	62
3.4 Сборка и испытание изделия.....	70
Выводы по разделу.....	74
Глава 4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
4.1 Общие сведения о научно-техническом	

исследовании.....	76
4.2 Сегментирование рынка.....	76
4.3 Анализ конкурентных технических решений.....	77
4.4. Анализ рисков.....	78
4.5 SWOT-анализ.....	79
4.6 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований.....	82
4.7 Планирование научно-исследовательских работ.....	82
4.8 Расчет трудоемкости НИР.....	83
4.9 Основная заработная плата исполнителей.....	88
4.10 Накладные расходы.....	92
4.11 Определение финансовой, социальной, ресурсной и экономической эффективности исследования	93
Выводы по разделу.....	95
Глава 5. Социальная ответственность	
5.1 Описание рабочего места.....	96
5.2 Анализ условий труда на рабочем месте.....	97
5.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды.....	104
5.4 Факторы пожарной и взрывной природы.....	106
5.5 Охрана окружающей среды.....	108
5.6 Защита в чрезвычайных ситуациях.....	109
5.7 Правовые нормы.....	110
5.8 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	111
Выводы по разделу	112
Заключение.....	113
Список литературы.....	114

Введение

В наше время довольно активно исследуются и активно развиваются различные механизмы для преобразования движения, в многих таких механизмах используется не классическое зубчатое зацепление, а новые типы зацеплений в которых передача движения осуществляется промежуточными телами качения: шариками и роликами. Те в свою очередь находятся постоянно в контакте с поверхностями механических звеньев передачи, что позволяет в таких передачах реализовать многопарное зацепление. В таких механизмах, тела качения (ролики или шарики) не просто заменяют зубья классического зубчатого колеса цилиндрической передачи, а, получая несколько степеней свободы, создают передачи совершенно новой конструкции, обладающие новыми возможностями, габаритами и параметрами. Ранее теория зацепления таких передач имела лишь прикладное значение в ракетно-космических или оборонных проектах. Сегодня применение таких передач и механизмов на их основе широко распространено в силовых передаточных механизмах приводов и редукторов широкого назначения.

Чаще всего такие механизмы представляют собой волновые передачи с промежуточными телами качения (ВП ПТК). В таких передачах вместо гибкого колеса располагается цепь промежуточных тел качения. Каждое такое тело качения совершает волнообразное движение вдоль профиля жесткого колеса (венца).

Одним из преимуществ такой передачи является малый мертвых ход (люфт). Из-за большой жесткости движущихся звеньев волновой передачи с промежуточными телами качения при повышенных нагрузках, люфт на выходном звене составляет, до 0,05 град (для высокоточных передач);– до 0,8 град (для передач нормальной точности).

Из этого следует, что анализ точностных характеристик ВППТК является актуальной задачей сегодня.

Целью данной работы является проведение исследования кинематической точности радиальной волновой передачи с промежуточными телами качения со свободным генератором в зависимости допуска основных размеров элементов передачи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ имеющихся на сегодня методик достижения кинематической точности передач с промежуточными телами качения или аналогичных.
2. Определение люфтов и минимальных зазоров
3. Определение изменения кинематической точности в зависимости от изменения исходных параметров передачи с ПТК.

Глава 1.

Основные передачи в механике, их преимущества и недостатки, методы достижения точности этих передач

1.1 Цилиндрическая передача.

Цилиндрическими передачами называются зубчатые передачи оси которых расположены параллельно. По видам цилиндрические передачи делятся на прямозубые (рис. 1.1), косозубые или шевронные. Для цилиндрических передач рекомендуемые максимальные передаточные отношения $U_{\max}=6\ldots 8$ для одной ступени не должны быть превышены, так как в противном случае механизм возрастает в габаритах в сравнении с двухступенчатыми передачами, передаточное отношение которых аналогично.

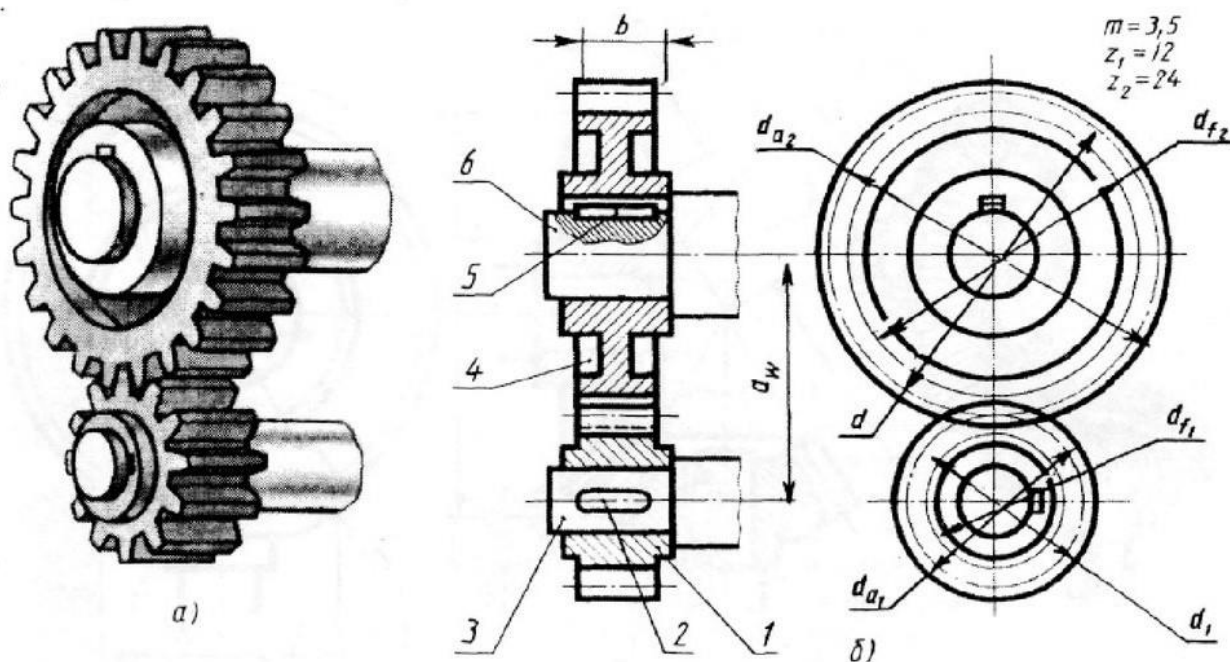


Рисунок 1.1 Цилиндрическая передача.

Геометрия.

Геометрия зубчатых колес представляет собой эвольвентный профиль. Эвольвентным профилем – называется траектория движения точки, принадлежащей прямой, перекатывающейся по окружности без скольжения. Такая прямая называется производящей прямой, а окружность, по которой она перекатывается – *основной окружностью* (рисунок 1.2).

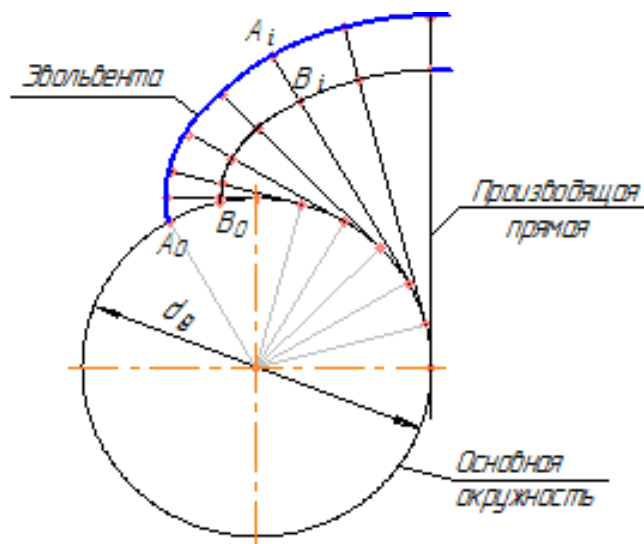


Рисунок 1.2 Эвольвента.

Эвольвента имеет ряд свойств, которые используют в теории зацепления:

1. форма эвольвенты определяется радиусом основной окружности;
2. нормаль к эвольвенте в любой ее точке является касательной к основной окружности. Точка касания нормали с основной окружностью является центром кривизны эвольвенты в рассматриваемой точке;
3. эвольвенты одной и той же основной окружности являются *эквидистантными* (равноотстоящими друг от друга) кривыми.

Преимущества:

1. цилиндрические передачи способны передавать большую мощность почти без потерь
 2. они имеют маленькое значение люфта выходного вала.
- Кинематическая точность таких редукторов намного выше, по сравнению с червячными редукторами.

3. низкая температура нагрева при работе. Передача энергии от источника к потребителю происходит практически без рассеивания.
4. очень высокая степень обратимости (полное отсутствие самоторможения) на всем диапазоне передаточных чисел.
6. высокая надёжность. Ресурс цилиндрических передач может достигать до 30000 часов.

Недостатки:

1. максимальное передаточное отношение одноступенчатого редуктора не может превышать 1:6,3. Если необходимо получить большее передаточное число нужно увеличить число ступеней.
2. высокий уровень шума.

1.2 Коническая передача.

Коническая зубчатая передача предназначена для передачи вращения между пересекающимися валами, которые в большинстве машин и оборудования расположены в пространстве перпендикулярно друг другу (см. Рис 1.3). При этом, в силу меньшей нагрузочной способности по сравнению с цилиндрическими зубчатыми передачами и большей чувствительности к погрешностям сборки конические передачи не рекомендуется применять в силовом приводе исполнительного механизма машины. Наиболее часто конические передачи находят применение в оборудовании, в котором кинематическая схема предусматривает наличие вспомогательных механизмов перемещающихся в параллельном или перпендикулярном направлении к оси исполнительного механизма, например в холостно – высадочных и гвоздильных автоматах, во фрезерных и зубообрабатывающих станках.

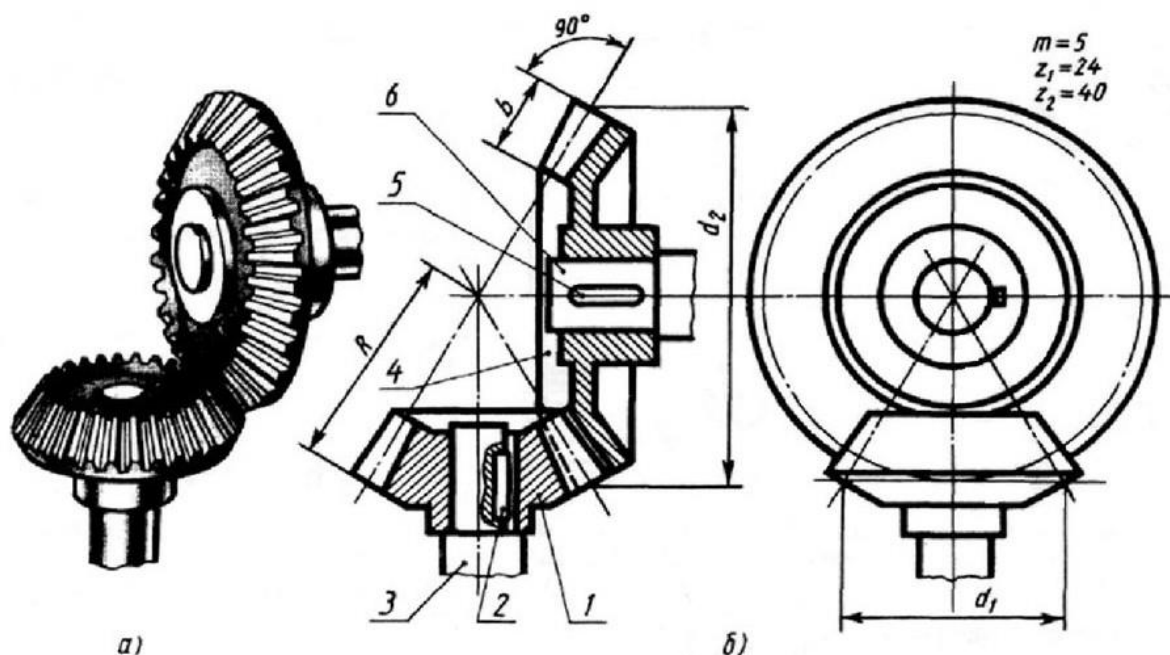


Рисунок 1.3 Коническая передача.

Конические шестерни применяют в передачах, оси валов которых пересекаются под некоторым углом Σ . В механике самым распространённым является угол $\Sigma=90^\circ$.

Конические передачи несколько сложнее цилиндрических передач в изготовлении, сборке и регулировке. Для нарезания таких колес требуется специальные зубострогальные станки и специальные резцы, которые работают парно. Кроме допусков размеров зубчатых венцов шестерен, также необходимо выдерживать допуски на углы Σ , δ . При сборке также необходимо обеспечивать совпадение вершин конусов шестерен. Выполнить с такой же степенью точности коническую передачу намного труднее, чем цилиндрическую.

Преимущества:

1. возможность передачи вращательного движения и преобразования между звеньями, оси вращения которых пересекаются;
2. передача движения между звеньями передачи с изменяемым межосевым углом при широком диапазоне изменения данного угла;

3. при разработке новых зубчатых или комбинированных механизмов значительное расширение возможностей компоновки.

Недостатки:

1. сложная технология изготовления конических зубчатых колес. Сложность сборки и регулировки конических передач;
2. осевые и изгибные нагрузки на валы очень велики, а особенно в связи с тем, что зубчатые колеса расположены консольно.

Кинематическая точность

Допуски на геометрические параметры конических зубчатых колес назначаются в соответствии с ГОСТ 1758-81, который устанавливает 12 степеней точности. В зависимости от степени точности передачи нормируются показатели кинематической точности, плавности работы и нормы контакта зубьев в передаче. Степень точности передачи выбирается в зависимости от ее назначения (силовая или кинематическая). Боковой зазор в конической зубчатой передаче j_n обеспечивается за счет уменьшения толщины зуба колеса и шестерни путем дополнительного смещения исходного контура или другими способами зуборезного инструмента при нарезании зубьев. Боковой зазор в передаче j_n необходим для компенсации температурных изменений в передаче при ее работе j_{n1} , для обеспечения нормальных условий смазывания – j_{n2} для компенсации погрешности изготовления и сборки деталей входящих в передачу – j_{n3} . Таким образом, минимальная величина бокового зазора в зубчатой передаче равна:

$$j_n = j_{n1} + j_{n2} + j_{n3} \quad (1.2)$$

Величина бокового зазора, необходимого для компенсации температурных изменений в зубчатой передаче при ее работе определяют по следующей формуле:

$$j_{n1} = a_w(a_1\Delta t_1^0 - a_2\Delta t_2^0) \quad (1.3)$$

Где:

- a_1, a_2 , коэффициенты линейного расширения для материала зубчатых колес и корпуса,
- $\Delta t_1^0, \Delta t_2^0$, отклонение температур зубчатых колес и корпуса от 20° С.

Величина бокового зазора j_{n2} , обеспечивающая нормальные условия смазывания, зависит от способа смазывания и окружной скорости передачи. Ориентировочно, эта величина составляет в микронах от 10м для тихоходных передач до 30м для быстроходных передач ($V = 15$ м/сек). Величина бокового зазора j_{n3} необходимая для компенсации погрешности изготовления и сборки деталей входящих в передачу (зубчатые колеса, валы, подшипники, корпус) и упрощенно может быть рассчитана по следующей формуле:

$$j_{n3} = \sqrt{(f_{am} \sin \alpha * \sin \varphi_2)^2 + 2f_{pb}^2 + f_a^2 + (E_\Sigma 2 \sin \alpha)^2} \quad (1.4)$$

Где:

- f_{am} предельное смещение зубчатого венца в направлении оси,
- f_{pb} предел отклонения шагов колеса или шестерни,
- f_a предел смещения осей, на которых вращаются колеса,
- E_Σ максимальное отклонение межосевого угла в данной передаче,
- α угол зацепления передачи,
- φ_2 угол изначального конуса колеса,

В точных конических передачах, для которых необходимо установить минимальный боковой зазор, его величина рассчитывается по следующей формуле:

$$j_{n3} = \sqrt{(T_{B\Delta} \sin \alpha * \sin \varphi_1)^2 + (T_{B\Delta} \sin \alpha * \sin \varphi_1)^2 + 2f_{pb}^2 + T_{A\Delta}^2 + (T_{\varphi\Delta} 2 \sin \alpha)^2} \quad (1.5)$$

Где:

- $T_{A\Delta}, T_{B\Delta}, T_{B\Delta}, T_{\varphi\Delta}$, допуски исходных-замыкающих звеньев размерных цепей А, Б, В, φ .

После выполнения расчета минимальной величины бокового зазора в передаче по ГОСТ 1758-81 выбирается наиболее близкий вид сопряжения.

Для конических передач отсчетных механизмов нормируется величина мертвого хода, при этом минимальная величина бокового зазора j_{min} определяется по следующей формуле:

$$j_{min} = \frac{\Delta\varphi_{min} m z \cos\alpha}{2} * \cos\varphi_2 \quad (1.6)$$

1.3 Червячная передача (редуктор).

Червячная передача является частью передач зацепления со скрещивающимися осями валов. Угол перекрещивания чаще всего равен 90° градусам. Однако возможны и другие углы, не равные 90° , но подобные передачи встречаются очень редко.

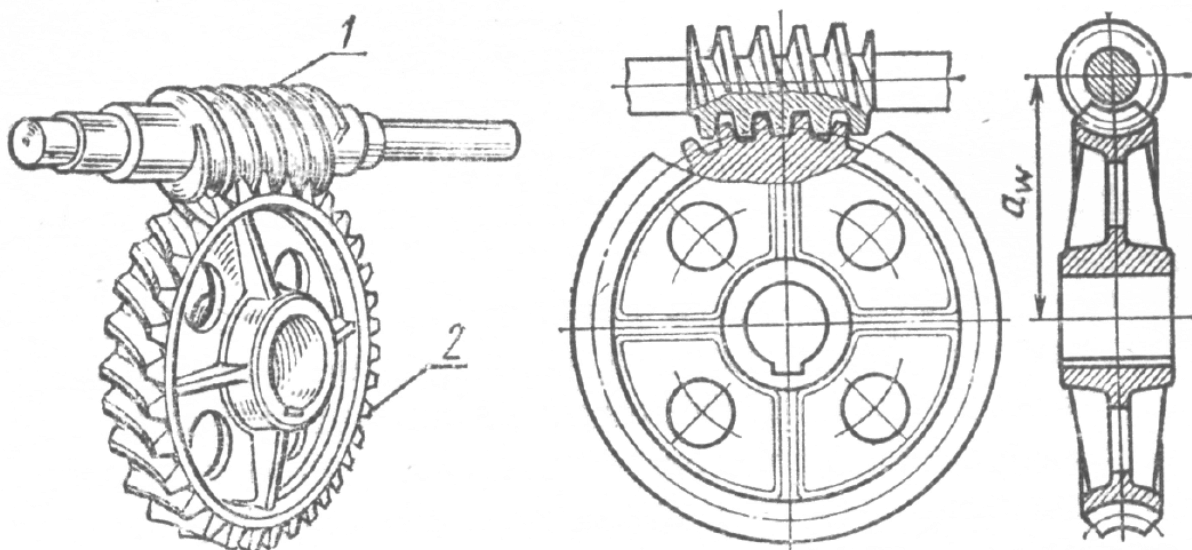


Рисунок 1.4 Червячная передача.

Движение в таких передачах осуществляется по принципу винтовой пары. Винтом здесь является червяк, а колесо аналогично сектору, который вырезан из длинной гайки и изогнут по окружности.

Геометрия:

Червяк представляет собой винт с определенной геометрией сечения, которая определяется видом червячной передачи. Червячное колесо представляет собой шестерню, зубья которой имеют профиль соответственно

виду передачи и угол наклона равный углу подъема витка червяка. Зубья колеса имеют вогнутую форму и охватывают червяк по дуге с углом 60... 110 градусов.

Преимущества:

1. плавность работы червячных передач обеспечивается винтовым зацеплением;
2. бесшумность червячных передач обеспечивается также винтовым зацеплением;
3. большое передаточное число в одной паре, благодаря этому червячные редукторы значительно более компактны и менее массивны, даже с большими передаточными отношениями, нежели эквивалентные им зубчатые передачи;
4. обладают самой высокой степенью самоторможения;
5. червячные передачи имеют высокую кинематическую точность;

Недостатки:

1. относительно низкий коэффициент полезного действия (целесообразно применять червячные передачи при мощностях не более 100 кВт);
2. потери на трение очень велики (тепловыделение). Рационально использование жидкой смазки;
3. склонность к заеданию и повышенный износ;
4. требования точности сборки очень высоки, и как следствие необходимо предусмотреть механизм регулировки;
5. необходимость предусмотреть ряд мер по интенсификации теплоотвода;
6. передача крутящего момента возможна только в одном направлении.

Кинематическая точность.

Степени, нормы и числа точности, виды сопряжения червяка с червячным колесом, а также условные обозначения точности червячных передач подобны этим же показателям для зубчатых передач.

Всего предусмотрено двенадцать степеней точности червячных передач. Чаще всего применяют шестую – высокоточные передачи, седьмую – передачи с повышенными скоростями и восьмую степени – пониженная точность.

Для правильной работы червячной передачи необходимо обеспечить боковой зазор. Он необходим для размещения смазки, для обеспечения свободного вращения колес, а также для предотвращения заклинивания зубьев. Величина бокового зазора задается в виде сопряжения (Н, Е, D, С, В, А). Наиболее часто применяется сопряжение В и С. Обозначение вида сопряжения Н указывает на наименьший гарантированный зазор, равный нулю, А – наибольший гарантированный зазор.

При износе деталей червячной передачи в ней увеличивается мертвый ход. Основными дефектами являются: поломка или выкрошивание зубьев колеса, износ поверхностей зубьев червячного колеса и витков червяка, задиры и трещины, износ опорных шеек вала червяка или колеса, износ посадочных поверхностей. При износе посадочных мест или опор валов возникает осевой люфт червяка или колеса. При неравномерном износе зубьев по длине можно понять о несовпадении средней плоскости колеса с осевой плоскостью червяка. Появление бронзовой пыли в передаче указывает на прогрессирующее истирание зубьев колеса, в результате недостаточности или отсутствия смазки.

1.4 Волновая передача.

Волновой называют механическую передачу, в которой вращение передают за счет перемещения зоны деформации упругого гибкого звена. Механические волновые передачи могут быть фрикционными и зубчатыми.

В основу волновой передачи заложен принцип преобразования параметров движения вследствие волнового деформирования гибкого звена передачи. Самые распространенные передачи – это передачи с гибким цилиндрическим колесом.

Благодаря наличию нескольких зон зацепления и большого числа зубьев (20–40% при нагружении), передающих крутящий момент достигается малая масса, габаритные размеры и высокая точность волновой передачи. Поэтому каждый зуб воспринимает меньшую силу и его прочность обеспечивается даже при малых размерах. КПД волновой передачи находится в пределах 0,8–0,9 и близок к коэффициенту полезного действия планетарных, а также многоступенчатых цилиндрических передач.

Волновая передача состоит из трех основных узлов (рисунок 1.5): гибкого колеса 1, генератора волн H и жесткого колеса 2. Зубчатый венец колеса входит в зацепление с жестким колесом и деформируется генератором. Гибкое колесо чаще всего изготавливается в виде стакана с фланцем. На гибком колесе снаружи нарезан зубчатый венец в середине стакана. Для того, чтобы стенка стакана могла деформироваться под воздействием вставленного внутрь генератора волн, она имеет малую

толщину. Генератор волн состоит из гибкого подшипника на профилированном кулачке.

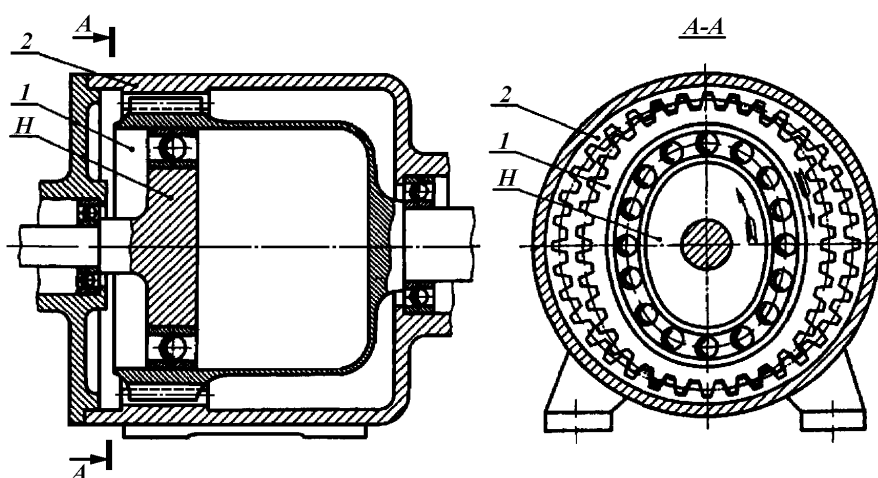
Рис. 1.5 Волновая передача.

Геометрия:

В основе волновой передачи заложена описанная ранее эвольвента.

Преимущества:

1. малая масса и габариты в сравнении с другими зубчатыми



передачами

2. передаточные отношения находятся в диапазоне $U=80\ldots300$,
3. кинематическая точность очень высока,
4. нагрузки на вал очень малы,

Недостатки:

1. сложность конструкции и изготовления податливого гибкого колеса.
2. меньшая приведенная к выходному валу крутильная жесткость.

Кинематическая точность.

В волновой передаче помимо наличия бокового зазора в зубчатом зацеплении большое влияние на точность передачи оказывает точность изготовления генератора.

1.4 Новое поколение передач. Волновые передачи с ПТК.

В наше время наиболее активно ведется исследование механизмов преобразования движения. Более остальных исследуются передачи где вместо зубчатого зацепления применяются новые типы зацеплений – с помощью ПТК в роли которых чаще всего применяются шарики или ролики. Впервые аналогичные механизмы появились в виде патентов в начале XX века. Но они не получили широкого практического применения в механике тех лет. Их продвижение затрудняло отсутствие достаточных технологий изготовления дорожек для тел качения. С появлением станков с программным управлением и появлением возможности такой обработки к этим передачам вновь возрос интерес.

Изначально передачи с ПТК создавались по традиционным схемам зубчатых или червячных передач.

За несколько лет в патентной информации появилось большое количество подобных механизмов. В них шарики и ролики не заменяют зубья шестерни, а образуют механизмы совершенно новой конструкции, за счет нескольких степеней свободы тел качения. Их главным отличием от передач с традиционным зацеплением – является многопарность в зацеплении. В непрерывном контакте с дорожками качения и другими поверхностями находятся практически все тела качения. Такие передачи уже нельзя рассматривать как классические зубчатые передачи. Для таких передач не существует установившихся терминологий.

Виды передач с ПТК

Такой термин как «волновые передачи с промежуточными звеньями» в России впервые введен в Томском НИИ Технологии машиностроения, тогда как его аналог, разработанная в Великобритании передача была названа своим автором «осевой волновой передачей».

При проведении анализа таких передач при помощи классических терминов и понятий из области волновых передач возможно собрать данные передачи в группы по определенным признакам.

Данные передачи можно разделить на две большие группы в зависимости от направления перемещения тел качения осевые и радиальные (рис. 1.5). В осевых передачах тела качения движутся вдоль оси передачи, а радиальных перпендикулярно к оси передачи.

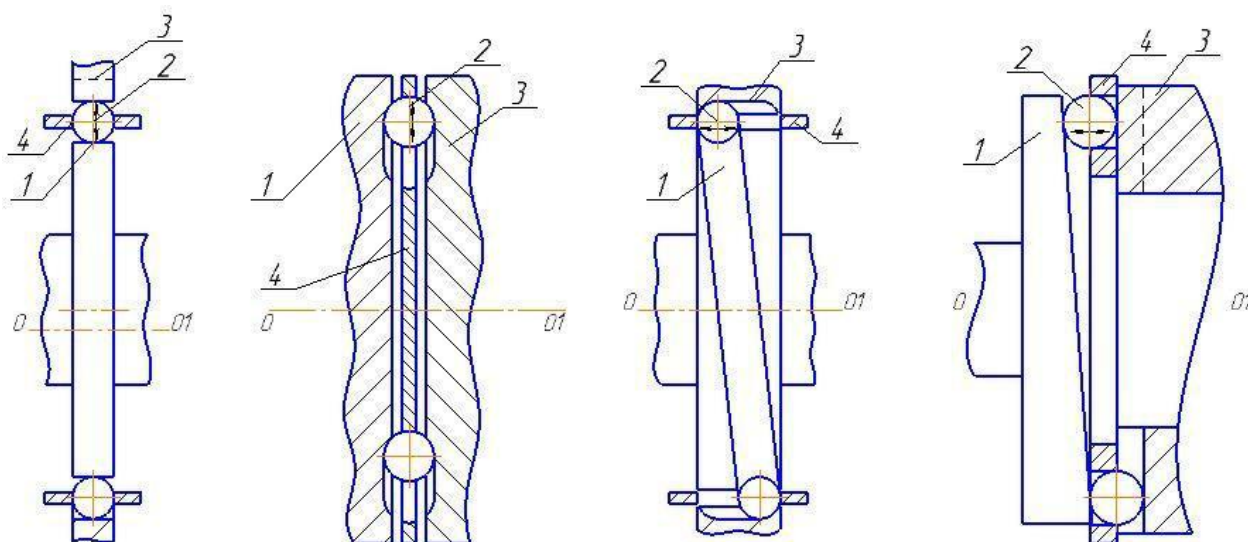


Рисунок 1. 5 Виды передач с промежуточными телами качения.

1 – генератор, 2 – промежуточные тела качения, 3 – профильный венец, 4 – сепаратор.

Направление перемещения ПТК относительно оси передачи указаны стрелками.

Радиальные передачи с ПТК.

Подобные механизмы впервые появились в Германии в начале XX века. Именно в то время было дано направление на развитие радиальных передач с промежуточными телами качения. Основой передачи являются три основных звена, которые охватывают друг друга. Наружные и внутренние части передачи имеют на своих поверхностях периодические кулачковые поверхности, которые обращены друг к другу. Сепаратор (водило) расположен между ними. В сепараторе выполнены отверстия, которые выполняют роль дорожек качения. Телами качения чаще всего

здесь служат ролики. С целью увеличения площади контакта пазов сепаратора с телами качения в них расположены сухари, в которых расположены цапфы роликов. Разделенная схема, в которой с целью уменьшения трения эксцентрик взаимодействует с ПТК через плавающую показана на рисунке 1.6

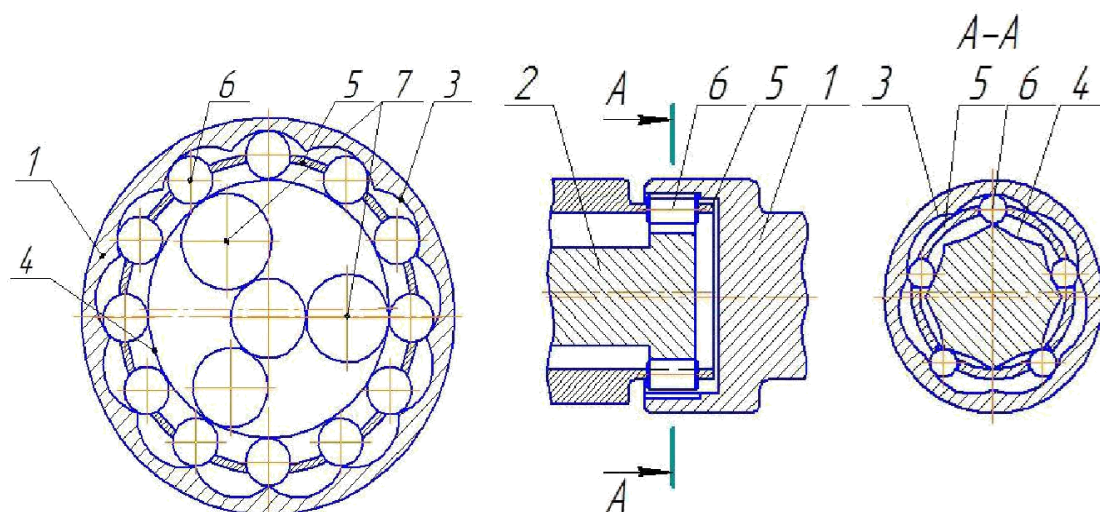


Рисунок 1.6. Схема радиальной передачи с промежуточными телами качения.

1 –венец, 2 –эксцентриковый кулачек, 3,4 – профили качения, 5 – сепаратор (водило), 6 – промежуточные тела качения, 7 – сателлиты

Своё дальнейшее развитие радиальные передачи с однопериодным генератором получили Томском Политехническом Университете, и в томской организации «Технотрон». Так же аналогичные изобретения появились в Японии, Германии и США. Передачи изготавливаемые в «Технотроне», в основном, реализуют простую трехзвенную схему. Передаточное отношение в такой передаче определяется числом дорожек качения профильного венца. Число тел качения в одном ряду соответствует числу пазов сепаратора и на единицу меньше чем число впадин (дорожек качения) профильного венца. Такая схема передачи, имеет все преимущества традиционной волновой зубчатой передачи. Но при такой схеме у нее есть и существенный недостаток, который особенно явно проявляет себя в передачах передающих высокий

крутящий момент и имеющих эксцентрики больших размеров – неуравновешенность масс. Следствием этого является высокий уровень шума, а также повышенный износ элементов передачи.

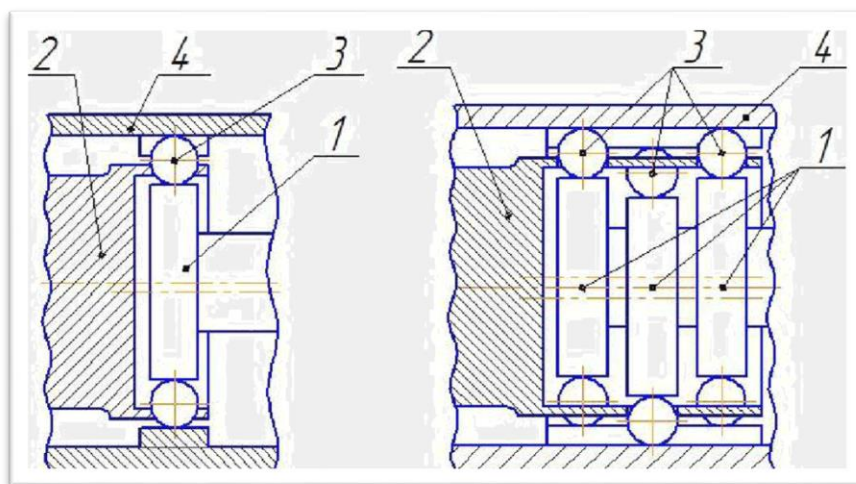


Рисунок 1.7 Схема передачи с ПТК и нагруженным сепаратором
1 – эксцентриковый генератор, 2 – сепаратор, 3 – промежуточные тела качения, 4 – венец.

Передачу выполняют многорядной с целью увеличения передаваемого крутящего момента. Для лучшей балансировки эксцентриситет в рядах сдвигают по углу (рисунок 1.7).

Еще одним существенным недостатком простых передач с ПТК является наличие трения между поверхностями элементов передачи и телами качения. Наиболее важным здесь является задача уменьшения трения тел качения о стенки пазов сепаратора, так как он в таких передачах является самым слабым звеном по прочности.

Механизмы на многорядных передачах с ПТК широко используются в машиностроении сегодня. Они нашли применение в приводах перемешивателей бурового раствора, в приводах запорной арматуры трубопроводов, в основных и вспомогательных лебедках при бурении скважин, в механизмах поворота и различных приводах строительной техники, а также приводах антенно-поворотных устройств, применяемых в отрасли коммуникаций.

Такой тип передач успешно внедрена и используется в производстве Э.Н. Панкратовым в, Томской организации ООО «SIMACO». Характеристики передачи, такие как: КПД до 0,9; большие передаточные числа, которые в одной ступени могут быть до $u=60$; возможность передавать большую мощность до 85 кВт; большой крутящий момент на выходе; компактность; непрерывность кинематического замыкания и плавность работы. Несмотря на все описанные выше достоинства такие передачи имеют ряд недостатков: тяжело нагруженные передачи при длительной работе испытывают значительный нагрев корпусных частей передачи; под нагрузкой в зацеплении возникает трение скольжения, которое снижает коэффициент полезного действия передачи и в следствие приводит к избыточному нагреву; в силовой передаче присутствует тонкостенная деталь сепаратор, которая в случае использования ее как выходное звено существенно снижает надежность передачи, и всего механизма в целом.

Преимущества многорядных ВППТК:

1. высокое передаточное отношение,
2. высокие крутящие моменты,
3. малый момент инерции,
4. компактность,
5. высокий уровень динамичности,
6. высокий КПД
7. малый люфт.

Недостатки многорядных ВППТК:

1. неуравновешенность масс и как следствие повышенные шум и вибрации,
2. трение скольжения между телами качения и рабочими поверхностями других элементов передачи,

3. большая трудоемкость при изготовлении если сравнивать с цилиндрическими передачами.

Осевые передачи с ПТК.

В таких передачах промежуточные тела качения совершают движение вдоль оси самой передачи. При этом тела качения (шарики) перемещаются по беговым дорожкам профильных венцов, которые имеют вид модифицированного радиального подшипника. В данной группе передач сомой большой является группа передач, у которых поверхности качения располагаются на торцевых поверхностях взаимодействующих звеньев (рисунок 1.8.)

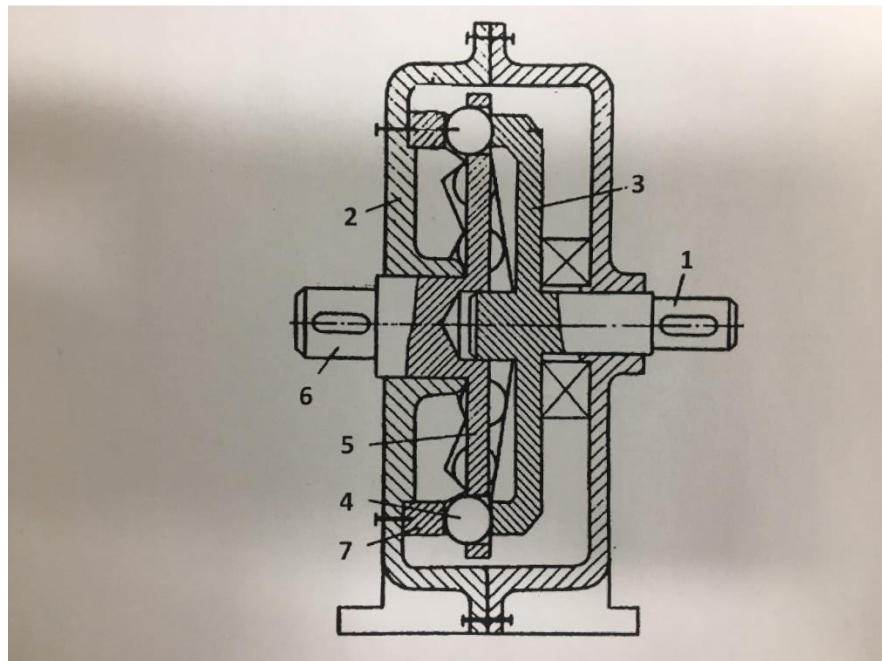


Рисунок 1.8 Осевая передача с ПТК.

1 - ведущий вал, 2 - корпус, 3 - генератор; 4 - тела качения; 5 - жесткое колесо

Основными элементами передачи выступают: ведущий вал; корпус; генератор, торцовая поверхность которого выполнена в виде зубьев треугольного профиля; тела качения и жесткое колесо, которое связано с выходным звеном и в нем расположены отверстия для перемещения тел качения в осевом направлении; жесткое колесо 7 тоже имеет торцовые зубья с

аналогичной геометрией. Передаточное число в таких передачах определяется углами профиля зубьев колеса и генератора.

Геометрия:

Как правило в осевых передачах и генератор и профильный венец представляют собой сложную геометрию, которую описывает уравнение ВППТК. Водило представляет собой диск, в котором выполнены отверстия по форме тел качения.

Преимущества:

1. компактность в осевом направлении,
2. высокий коэффициент полезного действия,
3. высокий уровень динамичности и малый момент инерции.

Недостатки:

1. большие габариты в диаметральной направлении,
2. трение скольжения между ПТК и рабочими поверхностями звеньев передачи,
3. из-за большого количества тел качения такие передачи имеют малую жесткость.
4. изготовление и контроль кулачковых поверхностей такой передачи является очень сложной задачей

1.5 Люфты в передачах

В механике люфт обозначает свободный ход (мертвый ход), то есть минимальную величину движения передающего элемента механической системы, которая требуется для получения отклика управляемого элемента системы. Следовательно, величина мертвого хода определяет степень перемещения элемента управления, при которой управляемая система не испытывает изменений. С увеличением мертвого хода, воздействие на элемент управления возрастает.

Люфты зубчатых передач сильно влияют на точность работы систем автоматического регулирования. Увеличение коэффициентов усиления систем при наличии люфтов приводит к ухудшению их устойчивости. С ростом люфтов возникают незатухающие колебания (автоколебания) в системах регулирования, устранение которых представляет значительные технические трудности. Поэтому в процессе проектирования передачи необходимо выбирать такую конструкцию редуктора и назначать такие допуски, которые приведут к меньшим значениям люфта.

Наличие люфтов в передачах обусловлено наличием зазоров в сопряжении деталей. Зазоры в свою очередь могут быть как необходимыми конструктивно элементами так и являться дефектом детали или передачи, возникшим в процессе изготовления или сборки.

1.6 Люфты в зубчатых передачах.

Люфты в цилиндрических передачах очень сильно влияют на точность работы систем автоматического регулирования. Увеличение коэффициентов усиления систем при наличии люфтов приводит к ухудшению их устойчивости. С ростом люфтов возникают незатухающие колебания (автоколебания) в системах регулирования, устранение которых представляет значительные технические трудности. Поэтому в процессе проектирования зубчатой передачи необходимо выбирать такую конструкцию редуктора и устанавливать такие допуски зубчатых колес, при которых люфты будут иметь наименьшие значения.

Люфты в зубчатых передачах возникают из-за наличия боковых зазоров в соединениях колес, а так же наличия упругой деформации как валов так и колес. Величина бокового зазора определяется степенью точности исполнения колес, а так же точности межцентрового расстояния.

Назначение бокового зазора в зубчатой передаче состоит в том, что в заданном режиме работы колеса всегда имеют более высокую температуру, чем детали корпуса, а соответственно расширяются больше, за счет чего увеличивается расстояние между опорами колес. В зоне контакта зубьев образуется, которое отводится через плоскость. Разность расширения деталей редуктора должна быть скомпенсирована наличием бокового зазора. Боковой зазор также нужен с целью компенсации погрешностей изготовления и монтажа передачи, создания нормальных условий для смазывания, ограничения люфта при реверсе передачи.

Допуск зазора зависит от величины гарантированного зазора, то есть при большем гарантированном зазоре, больше допуск зазора. Это позволяет увеличить поля допусков при изготовлении зубчатых колес с большими гарантированными зазорами.

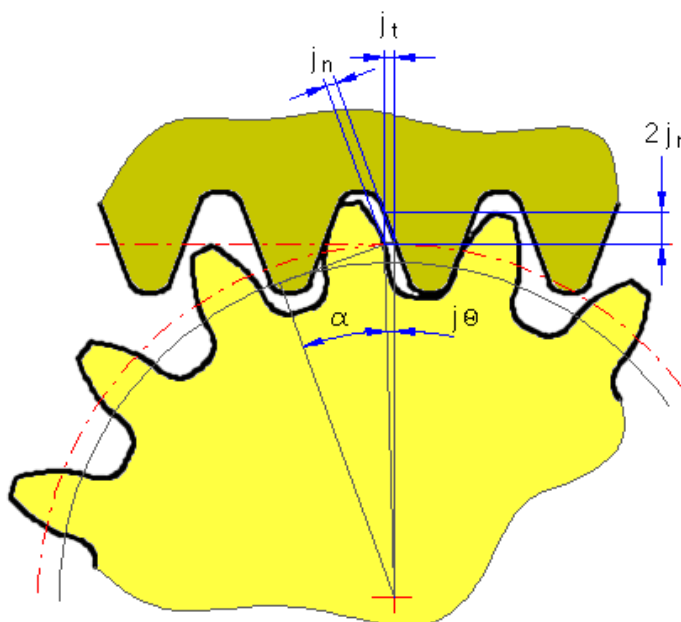


Рисунок 1.10. Боковой зазор цилиндрической передачи

Гарантированный боковой зазор обозначается J_n и ограничивается допуском T_i .

«Номинальным положением исходного контура называется его условное положение относительно оси вращения колеса, соответствующее плотному (беззазорному) зацеплению в передаче при номинальном положении исходного контура второго колеса и номинальном межосевом расстоянии»[10].

«Практически это такое положение зуборезного инструмента (червячной модульной фрезы, долбяка, рейки и др.) относительно заготовки колеса на станке, при котором толщина зуба колеса будет иметь номинальную расчетную величину, обеспечивающую плотное зацепление с парным колесом при номинальной толщине его зубьев и номинальном межцентровом расстоянии»[10].

С целью компенсировать погрешность изготовления и сборки шестерен в передачу закладывается гарантированный боковой зазор. Боковой зазор достигается смещением контура шестерни в тело колеса, что в свою очередь обеспечивает получение толщины зуба, действительное значение которой меньше номинального.

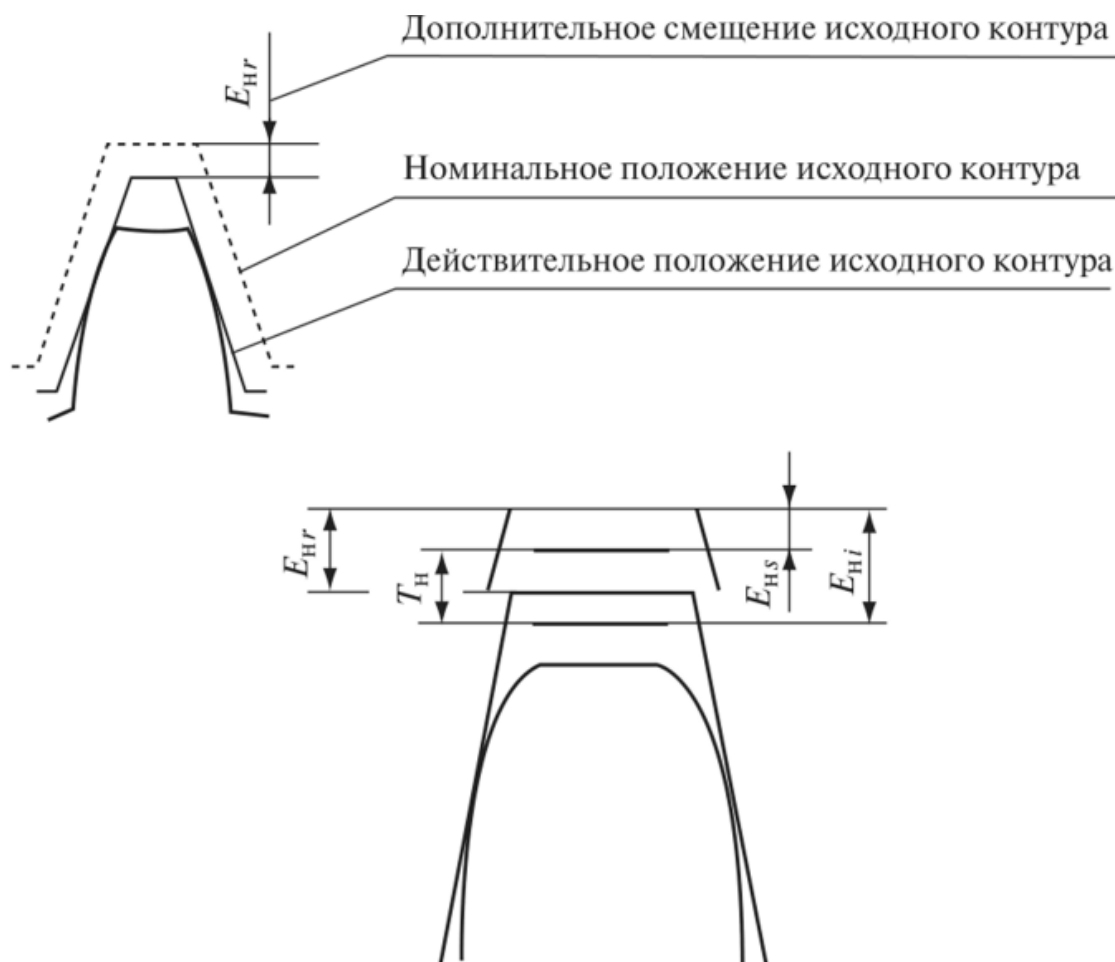


Рисунок 1.11. Обеспечение бокового зазора

Минимальная величина такого смещения представляется в виде зависимости степени точности по нормам плавности и виду сопряжения. Величина смещения обозначается:

$-E_{H_s}$ — для шестерен с внешним зубом;

$+E_r$ — для шестерен с внутренним зубом;

«Предельные отклонения измерительного межосевого расстояния (верхнее $+E_{a''s}$ и нижнее $-E_{a''i}$ — разность между допускаемыми наибольшими или соответственно наименьшими измерительными и номинальным межосевым расстояниями (рис. 1.12)»[10].



Рисунок 1.12. Измерительное межосевое расстояние

Межосевое расстояние в беззазорном зацеплении контрольного колеса с контролируемым колесом, имеющим наименьшее смещение исходного контура и лишенного погрешностей называется - номинальным измерительным межосевым расстоянием.

«Независимо от степеней точности (рис. 1.13) зубчатых колес и передач установлены шесть видов сопряжений зубчатых колес в передачах А, В, С, D, Е, Н и восемь видов допуска T_{jn} на боковой зазор x, y, z, a, b, c, d, h ».[10]

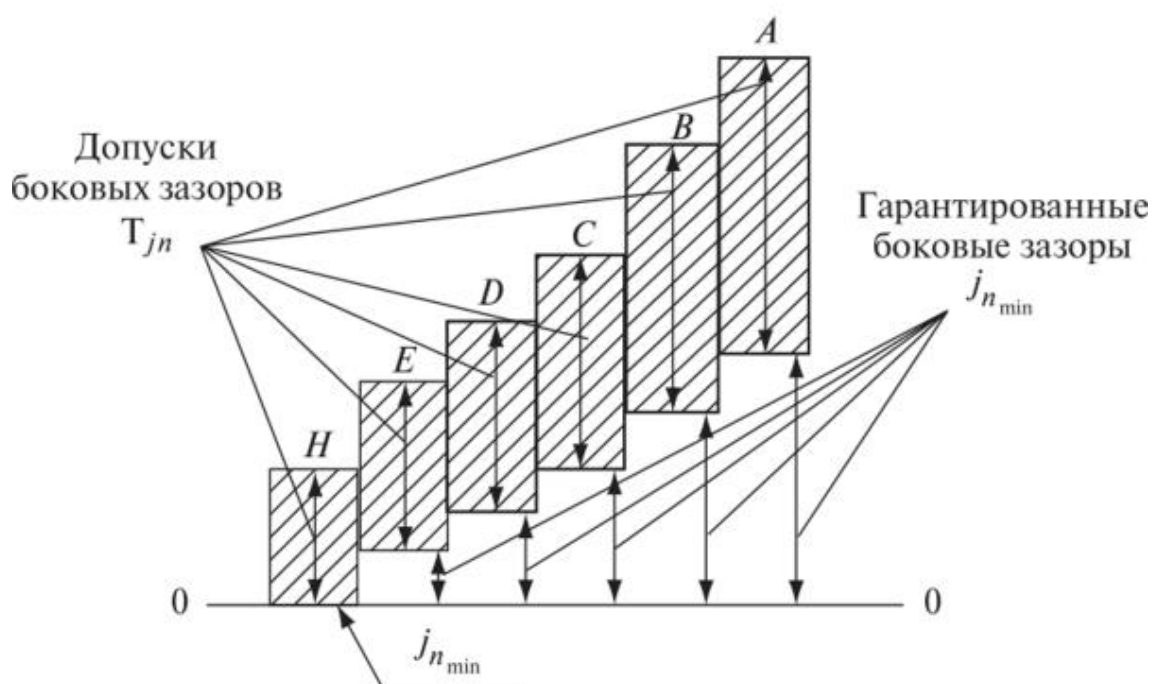


Рисунок 1.13. Виды сопряжения и допуски на боковой зазор.

Таблица 1.1 Виды сопряжений и степени точности

Виды сопряжений	Диапазон степеней кинематической точности передач
A (увеличенный зазор)	3-12
B (нормальный зазор)	3-11
C (уменьшенный зазор)	3-9
D (малый зазор)	3-8
E (очень малый зазор)	3-7
H (нулевой зазор)	3-7

Если к передаче отсутствуют специальные требования, то видам сопряжений H и E соответствуют допуск бокового зазора h . Видам сопряжений D, C, B, A — соответствуют допуски бокового зазора d , c , b , a .

Изменение соответствий видов сопряжений шестерен и вида допуска бокового зазора допускается. «При этом могут быть использованы виды допусков x , y , z ».[10]

Действующим стандартом установлено 6 классов отклонений межосевого расстояния. Они обозначаться римскими цифрами I, II, III, IV, V, VI и расположены в порядке убывания.

Гарантированный боковой зазор во всех сопряжениях достигается при соблюдении классов отклонений межосевого расстояния предусмотренных стандартом.

Таблица 1.2. Рекомендуемое соответствие норм точности

Степень точности	Вид сопряжения	Допуск бокового зазора	Класс отклонений межосевого расстояния
3-7	H	h	II
3-7	E	h	II
3-8	D	d	III
3-9	C	c	IV
3-11	B	Ь	V
3-12	A	a	VI

С помощью следующего соотношения, возможно определение вероятных максимальных значений люфта Δ в цилиндрической паре шестерен, которые выражаются углом поворота ведомого колеса:

$$\Delta = 6,88 \times \frac{J_n}{m \times z} \quad (1.1)$$

где J_n —максимальный боковой зазор, значение которого указано в ГОСТ1643-81;

m — модуль шестерни;

z — число зубьев ведомой шестерни.

При наличии ряда пар колес суммарный люфт определяется как сумма отношений люфтов в отдельных передачах к передаточному числу редуктора. Она отражает угол поворота ведомого колеса, определяется по формуле:

$$\Delta_p = \frac{\Delta_{12}}{i_p} + \frac{\Delta_{23}i_{12}}{i_p} + \frac{\Delta_{34}i_{12}i_{34}}{i_p} + \dots + \frac{\Delta_{(n-2)(n-1)}i_{12}i_{23} \dots i_{(n-3)(n-2)}}{i_p} + \Delta_{(n-1)n} \quad (1.2)$$

где $\Delta_{12}, \Delta_{23} \dots$ — люфт в отдельных ступенях редуктора;

i_p - передаточное отношение редуктора;

i_{12}, i_{23} — передаточные отношения отдельных пар редуктора.

Кинематическая точность в зубчатых передачах.

Контроль кинематических параметров зубчатых делаются на две составляющие: комплексные и дифференцированные.

Дифференцированные показатели применимы для контроля отдельных погрешностей, которые возникли в следствие изготовления шестерен. Они применимы к шестерням со степенями точности 5...8.

Наибольшую полноту точности изготовления шестерен дают комплексные показатели. Они применяются к шестерням со степенями точности 3...5.

Дифференцированные показатели точности приведены ниже:

1. «Колебание длины общей нормали F_{vwr} — разность наибольшего и наименьшего значений длины общей нормали в пределах зубчатого колеса».[11]

Она ограничена допуском F_{vw} , который измеряют нормалемером.

2. «Погрешность обката F_{cr} — часть кинематической погрешности, которая формируется в процессе зубообработки за счет кинематической погрешности делительных цепей станка, которая полностью передаётся на зубчатый венец». [11] Данная погрешность ограничена допуском F_c . Данную погрешность измеряют кинематомером.
3. «Радиальное биение зубчатого венца F_{rr} — разность наибольшего и наименьшего расстояний в пределах зубчатого колеса от рабочей оси колеса до постоянной хорды (делительной прямой) исходного контура, условно наложенного на профиль зуба колеса».[11] Его ограничивает допуск F_r , который измеряют при помощи биениемера.
4. «Колебание измерительного межосевого расстояния за 1 оборот колеса F_{ir}'' — разность наибольшего и наименьшего значений межосевого расстояния за 1

оборот колеса при безззорном двухпрофильном зацеплении его с измерительным и имеющих наименьшее смещение исходного контура».[11]

Эталонное колесо должно быть точнее измеряемого на 2 или 3 степени

Прибор для измерения называется межцентрометр.

Комплексные показатели кинематической точности:

1. Кинематическая погрешность передачи обозначается $F_{к.п.п.}$ — является разностью действительного и номинального углов поворота ведомой шестерни. Измерение выполняется по делительной дуге окружности.
2. Наибольшая кинематическая погрешность зубчатой передачи F_{ior} — это разность значений кинематической погрешности относительного отклонения зубчатых колес, за полный цикл.
3. Наибольшая кинематическая погрешность зубчатого колеса F'_{ir} — наибольшая разность значений кинематической погрешности за один оборот колеса. Прибор для измерения - кинематомер.
4. Накопленная погрешность шага зубчатого колеса F_{pr} — наибольшая разность накопленных шагов за один полный оборот зубчатого колеса.

Комплексные показатели, которые определяют плавность работы зубчатых передач

1. Циклическая погрешность зубчатой передачи f_{zkor} — «это удвоенная амплитуда гармонической составляющей кинематической погрешности передачи».[11]
2. Циклическая погрешность зубчатого колеса f_{zkr} — это есть «удвоенная амплитуда гармонических составляющих кинематической погрешности колеса».[11]
3. Циклическая погрешность частоты f_{zzor} — это есть «удвоенная амплитуда гармонической составляющей частоты, которая равна частоте входа зубьев в зацеплении».[11]

1.7 Геометрические параметры ВПШТК.

Геометрию данной передаче можно описать, если заменить ее на схему осевого кривошипно-шатунного механизма (рисунок 2.5). Здесь эксцентрик генератора выполняет роль ведущего кривошипа. «Длина ведущего эксцентрика равна величине эксцентриситета $a_{ю}$ ».[13] Линию, которая соединяет оси шариков и ось эксцентрика, заменяет шатун. «Назовём длину этой линии приведённым радиусом генератора R_v . Очевидно, что линия проходит через точку контакта шарика с генератором. Тогда $R_{\Sigma} = 0,5(D_r + d_m)$, где D_r , d_m - диаметры генератора и шарика».[13]

Так как тела качения движутся по стенкам пазов сепаратора, то центры шариков движутся вдоль оси пазов сепаратора. Если обозначить Y расстояние от центра тела качения до центра профильного венца, «получаем выражение:

$$Y = \alpha_{\omega} * \cos\varphi + \sqrt{R_{\Sigma}^2 - \alpha_{\omega}^2} * \sin^2\varphi \quad (1.3)$$

где φ - текущий угол поворота входного звена»[13].

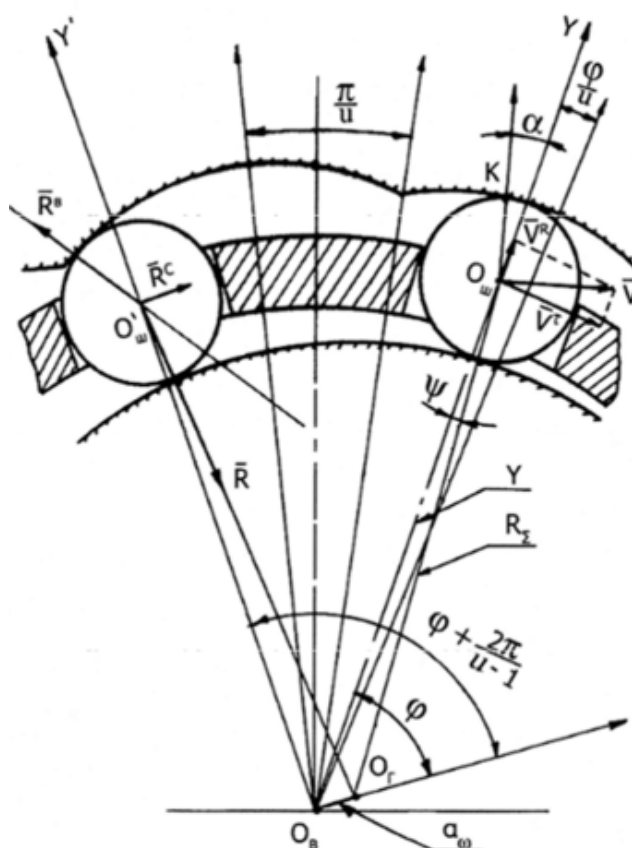


Рисунок 1.14 Геометрия ВППТК.

«Для получения уравнений профиля венца нужно перейти в систему координат, которая жёстко связана с вращающимся венцом. Венец вращается в U раз медленнее чем генератор и осуществляется поворот системы координат на угол φ/U . Профиль венца опишет точка K на теле качения. Угол α называется углом передачи движения. Для его определения нужно продифференцировать выражение (1.3) по φ :»[13]

$$V^R = - \frac{\alpha_{\omega} * \sin \varphi}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 - \alpha_{\omega}^2 * \sin^2 \varphi}} \quad (1.4)$$

Тангенциальная составляющая V^T , которая возникает из-за вращения венца равна Y_{ω}/U . Так как «скорость шарика направлена по касательной к профилю, то α определится следующим выражением:»[13]

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{V^R}{V^T} = \frac{U * \alpha_{\omega} * \sin \varphi}{\sqrt{R_{\Sigma}^2 - \alpha_{\omega}^2 * \sin^2 \varphi}} \quad (1.5)$$

«Параметрические уравнения профиля зуба с учётом выражений (1.3 и 1.5) будут следующие:»[13]

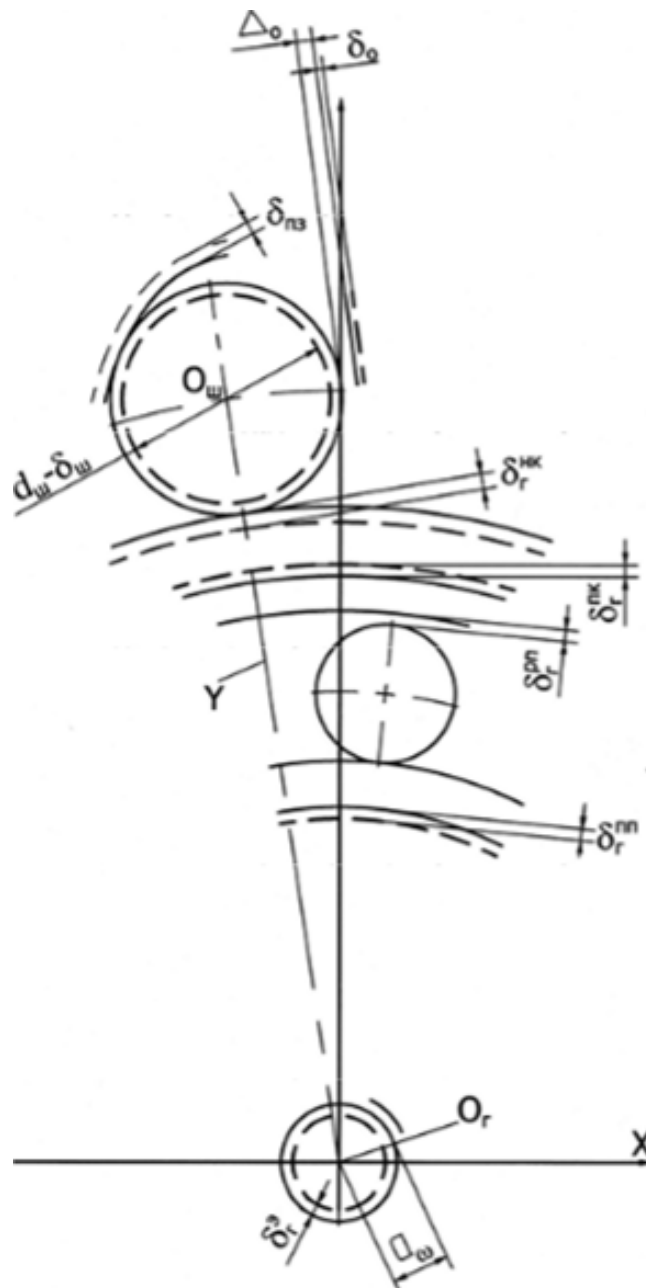
$$X_n = Y * \sin \frac{\varphi}{U} + 0.5 * D_{\text{ш}} * \sin \left(\alpha + \frac{\varphi}{U} \right) \quad (1.6)$$

$$Y_n = Y * \cos \frac{\varphi}{U} + 0.5 * D_{\text{ш}} * \cos \left(\alpha + \frac{\varphi}{U} \right) \quad (1.7)$$

1.8 Люфты в волновых передачах с ПТК и способы их устранения.

Под люфтом (мертвым ходом передачи) в ВППТК мы понимаем изменение положения выходного вала по углу, если к нему приложен крутящий момент в разных направлениях. Важным условием при этом, является фиксации входного вала передачи. «Зазоры в передаче условно можно разделить на следующие составляющие: рабочие, т. е. необходимые

Зазор непосредственно влияющий на кинематическую точность ВППТК - это зазор между пазами сепаратора цилиндрической поверхностью тел качения Δ_0 (рисунок 1.15).



43

Основные погрешности деталей и узлов ВППТК:

δ_r^{Δ} - допуск эксцентриситета;

$\delta_r^{ПП}$ - посадка кольца подшипника на эксцентриковый генератор;

$\delta_r^{РП}$ - зазор между наружным и внутренним кольцами подшипника;

$\delta_r^{ПК}$ - посадка наружного кольца генератора на подшипник;

$\delta_r^{НК}$ - допуск наружного кольца подшипника;

$\delta_{ш}$ - допуск диаметра тела качения.

Для уменьшения мертвого хода в волновой передаче с ПТК необходим «селективный подбор тел качения».[5]

«Значения зазоров, вследствие остаточных деформаций в зонах контакта шарика с деталями передачи, полученные в процессе экспериментальных исследований, составили менее 1 мкм.»[5] Соответственно при проектировании этими деформациями можно пренебречь.

Выходным звеном волновой передачи с ПТК может быть как сепаратор так и профильный венец.

Вследствие наличия зазоров мертвый ход целесообразно связать с изменением углового положения тела качения, относительно сепаратора или профильного венца (рисунок 1.16).

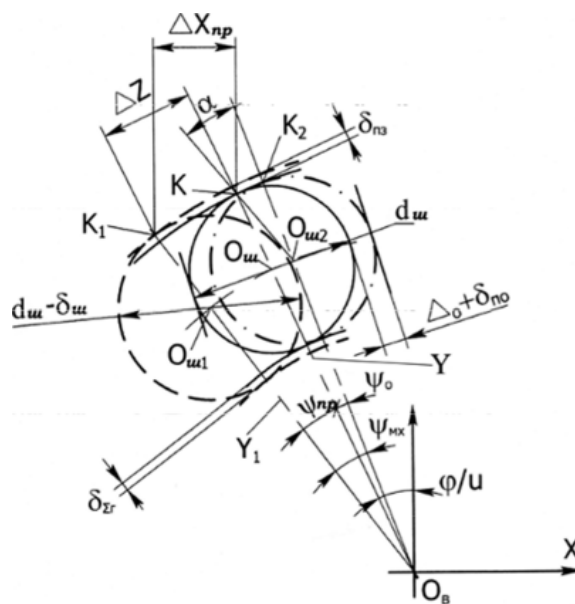


Рисунок 1.16. К определению мертвого хода.

«Наличие зазора Δ_0 между телами качения и пазами сепаратора, даже при отсутствии всех остальных зазоров в кинематической цепи передачи, позволяет перемещаться центру шарика из положения $O_{ш}$ в положение $O_{ш2}$, что вызывает поворот выходного звена на угол Ψ_0 ».[5]

Выводы по главе.

В этой главе мы рассмотрели основные виды передач, их преимущества и недостатки. Также мы рассмотрели геометрию радиальной волновой передачи с промежуточными телами качения, которую собираемся исследовать.

Также в главе рассмотрены параметры точности цилиндрических зубчатых колес, а также параметры кинематической точности зубчатых передач. Также рассмотрены основные уравнения определяющие геометрию деталей ВППТК и допуски влияющие на точность изготовления ВППТК.

Глава 2. Конструкторско-технологическая часть.

2.1 Анализ конструкции изделия.

Компания ООО «СМК» выпускает мотор-редуктор T22.442.01.00.00
Мотор-редуктор со следующими техническими характеристиками:

Таблица 2.1 Технические характеристики мотор-редуктора.

Наименование параметра	Значение
Диапазон поворота выходного звена, град.	± 35
Угловой люфт, град.	$\pm 0,25$
Передаточное число	2483
Номинальная потребляемая мощность, Вт	90
Напряжение, В	27
Максимальный крутящий момент на выходе, Нм	440
Статический крутящий момент на выходном звене, Нм	900
Частота вращения на выходном звене, об/мин	1

Мотор-редуктор используется в качестве антенно-поворотного устройства поста связи для ориентирования антенны по углу азимута. Характер работы изделия также предполагает постоянную смену направления вращения по достижении предельного угла поворота по азимуту. К мотор-редуктору предъявляются достаточно жесткие требования по угловому люфту. В случае слишком большого люфта точность позиционирования антенны будет находиться не в рамках технических требований к изделию. Также при наличии большого люфта возрастает момент инерции при смене направления, что может привести к интенсивному износу деталей передачи. При назначении же чрезмерно жестких допусков на детали передачи может привести к более высоким затратам при изготовлении изделия.

Мотор-редуктор состоит из трех ступеней (см. рисунок 2.1)

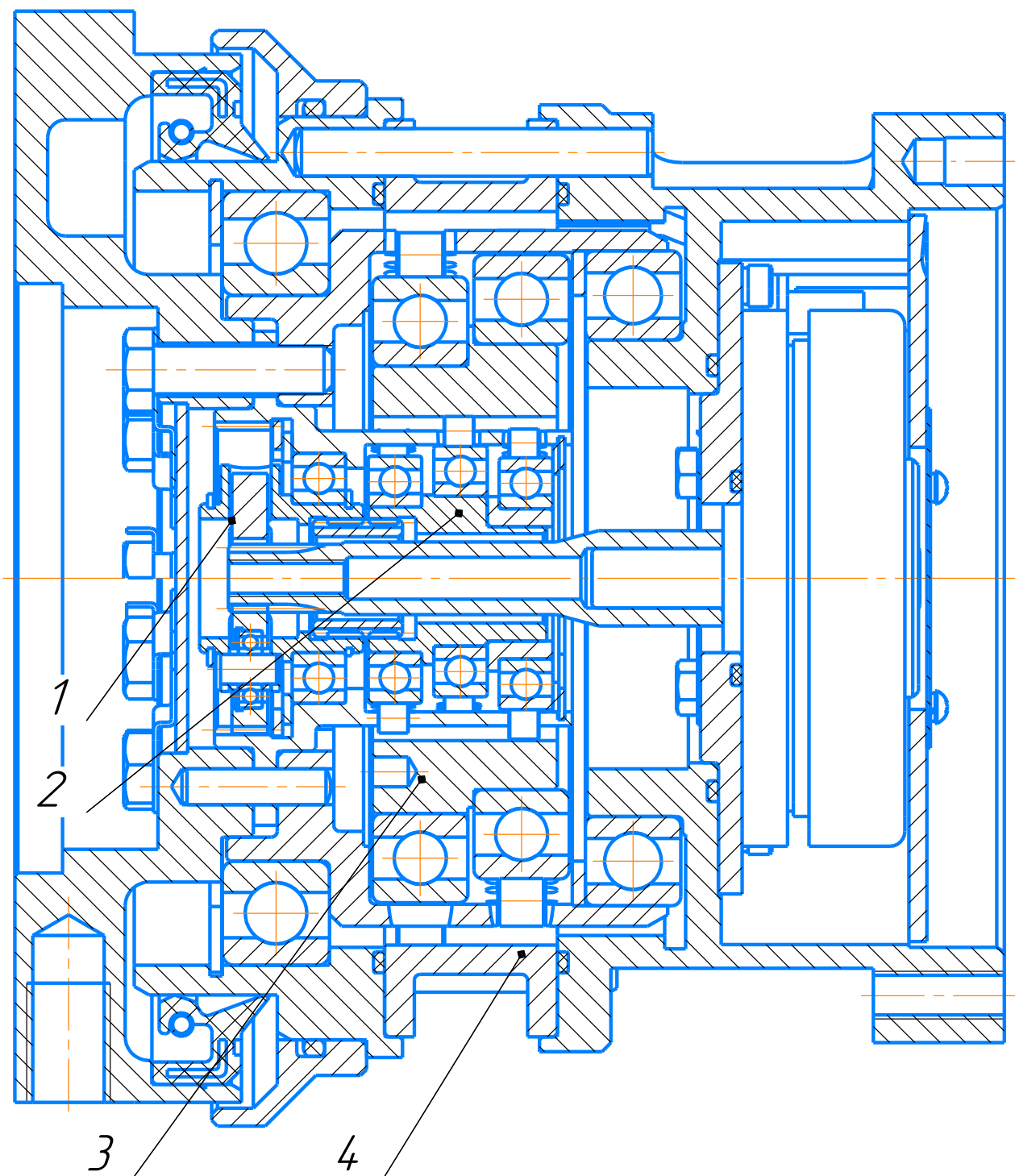


Рисунок 2.1. T22.442.01.00.00 Мотор-редуктор.

На входе с электромотора стоит первая ступень 1 – планетарная передача. За планетарной передачей расположены две ступени 2 и 3 волновой передачи. Выходным звеном является профильный венец 4.

Воспользуемся формулой суммарного люфта для ряда пар колес для расчета люфта мотор-редуктора

$$\Delta_p = \frac{\Delta_{12}}{i_p} + \frac{\Delta_{23}i_{12}}{i_p} + \frac{\Delta_{34}i_{12}i_{34}}{i_p} + \dots + \frac{\Delta_{(n-2)(n-1)}i_{12}i_{23}\dots i_{(n-3)(n-2)}}{i_p} + \Delta_{(n-1)n} \quad (2.1)$$

где $\Delta_{12}, \Delta_{23} \dots$ — люфт в отдельных ступенях редуктора;

i_p - передаточное число редуктора;

i_{12}, i_{23} — передаточные числа отдельных зубчатых пар редуктора.

исходя из анализа формулы наибольшую роль на люфт выходного звена будет оказывать третья ступень. Для исследования влияния зазоров в мотор-редукторе необходимо произвести расчет зазоров передаче и исследовать зависимость люфта от действительных размеров элементов выходной ступени редуктора. Для анализа зазоров воспользуемся схемой передачи представленной на рисунке 2.2.

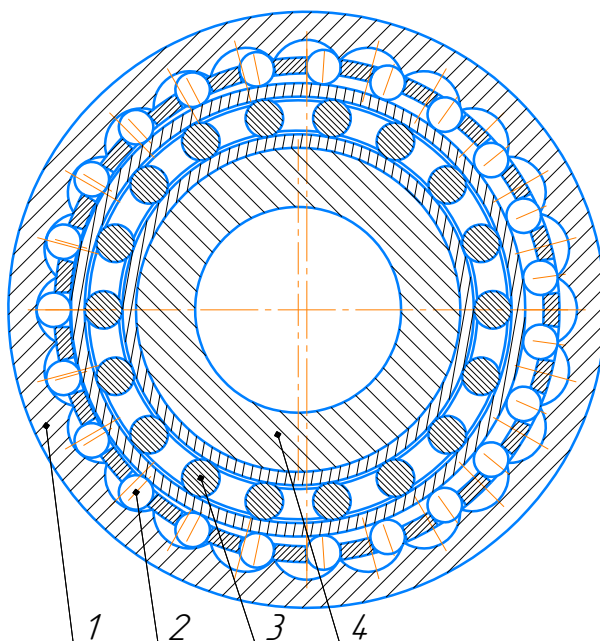


Рисунок 2.2 Схема третьей ступени мотор-редуктора.

Основными звеньями передачи являются венец 1, тела качения 2, подшипник генератора 3 и эксцентриковый генератор волн 4. Точность передачи будет зависеть от точности каждого из ее элементов. Элементы 2 и 3 это стандартные комплектующие допуски которых имеют постоянную величину и заложены в стандартах на эти изделия. Допуски на размеры деталей 1 и 4 необходимо рассчитать. Для анализа и расчета размеров и допусков деталей венец и генератор воспользуемся схемой представленной на рисунке 2.3.

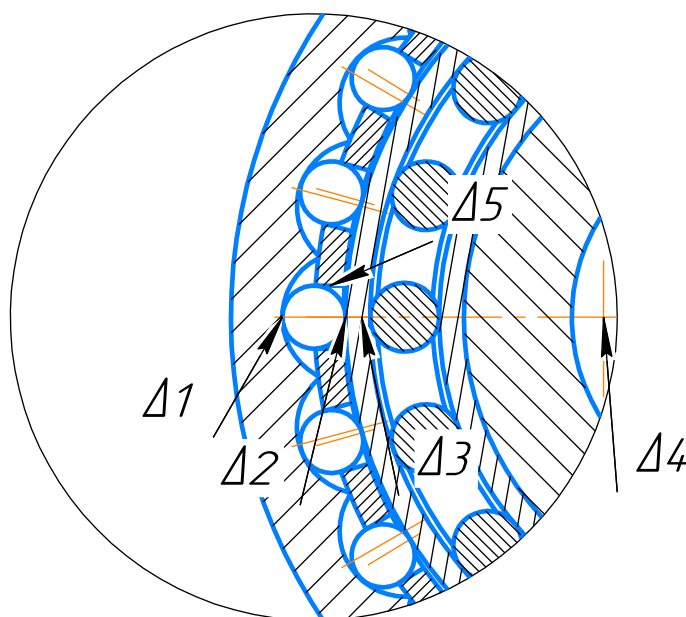


Рисунок 2.3 Схема передачи с допусками.

В точности передачи существенное влияние окажут допуски на размеры ее элементов:

$\Delta 1$ – допуск на размер профильного венца;

$\Delta 2$ – допуск наружного диаметра тела качения;

$\Delta 3$ – допуск наружного диаметра кольца подшипника генератора;

$\Delta 4$ – допуск эксцентриситета генератора;

$\Delta 5$ – допуск размера паза сепаратора.

Из рисунка понятно, что основное влияние на точность углового люфта будет оказывать точность изготовления профиля венца, эксцентриситета генератора и пазов сепаратора, причем наибольшее влияние окажет именно допуск паза сепаратора. Точность профиля венца и эксцентриситета генератора можно рассчитать исходя из конструкции изделия и его характеристик. Влияние допуска паза сепаратора необходимо дополнительно исследовать.

2.2 Расчет допуска профиля венца.

При анализе схемы передачи (рисунок 3.3) очевидно, что на размер допуска профиля будут влиять допуска элементов передачи а также необходимо предусмотреть тепловой зазор, так как при работе передачи произойдет нагрев деталей и изменение размеров. По техническим характеристикам изделие работает на пластичной смазке ЦИАТИМ 203 ГОСТ 8773-73. Максимальная температура нагрева изделия в процессе работы 50° с. Очевидно, что тело качения будет воспринимать максимальную нагрузку и разогреваться выше всех частей передачи. Соответственно необходимо выполнить тепловой расчет изменения размеров. В качестве тела качения в передаче используется Ролик 8 х 8 Д III ГОСТ 22696-2013. Материал тела качения сталь ШХ15СГ ГОСТ 801. Рассчитаем изменение диаметра тела качения с учетом максимальной температуры:

$$\Delta L = \alpha * (T_1 - T_0) \quad (2.1)$$

где ΔL — изменение размера;

α — коэффициент теплового расширения;

T_1 — температура нагрева;

T_0 — начальная температура;

Коэффициент теплового расширения для стали ШХ15СГ равен $15 * 10^{-6}$ град.⁻¹

$$\Delta L = 15 * 10^{-6} * (50 - 20) = 0,0045 \text{ м} \quad (2.2)$$

то есть при работе на максимально-допустимой температуре диаметр тела качения увеличиться на 4,5 мкм, что в свою очередь предполагает увеличение диаметра вершин профиля венца на 0,01 мм.

Теперь рассчитаем размерную цепь эксцентриситет генератора, подшипник, тело качения, профильный венец. Расчет будем выполнять методом полной взаимозаменяемости.

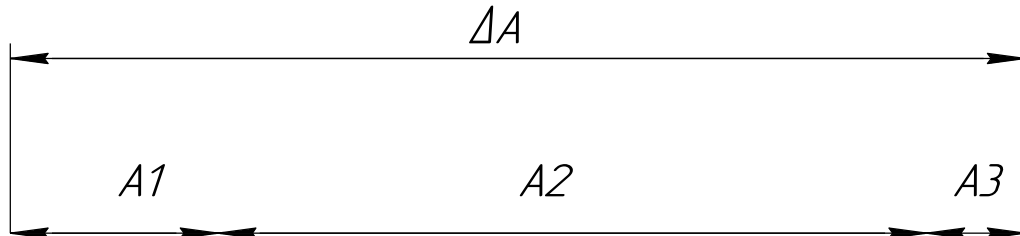


Рисунок 2.4 Размерная цепь для расчета допуска профиля венца.

где:

$$A1 = 8^{+0.01}_{-0.01} \text{ тело качения;}$$

$$A2 = 52,5_{-0.0075} \text{ наружный диаметр подшипника;}$$

$$A3 = 2^{+0.01}_{-0.01} \text{ эксцентриситет генератора.}$$

$$T(A1) = 0.02, C(A1) = 0;$$

$$T(A2) = 0.0075, C(A2) = - 0.00375;$$

$$T(A3) = 0.02, C(A3) = 0;$$

$$\Delta A = A1 + A2 + A3 = 8 + 52.5 + 2 = 62.5 \quad (2.3)$$

$$T(\Delta A) = T(A1) + T(A2) + T(A3) = 0.02 + 0.0075 + 0.02 = 0.0475 \quad (2.4)$$

$$C(\Delta A) = C(A1) + C(A2) + C(A3) = 0 + (-0.00375) + 0 = - 0.00375 \quad (2.5)$$

$$Es(\Delta A) = C(\Delta A) + \frac{T(\Delta A)}{2} = (-0.00375) + \frac{0.0475}{2} = 0.02 \quad (2.6)$$

$$Ei(\Delta A) = C(\Delta A) - \frac{T(\Delta A)}{2} = (-0.00375) - \frac{0.0475}{2} = - 0.0275 \quad (2.7)$$

Таким образом получаем необходимый размер вершин профиля венца с допуском, который равен $R = 62.5^{+0.02}_{-0.0275}$.

Так как размер по впадинам лучше измерять нутромером типа НИ, то очевидно размер на радиус перевести в диаметральный с добавлением теплового зазора на расширение тела качения, обозначим его через $\varnothing D_1$:

$$\varnothing D_1 = 62.5 * 2 + 0.01 = 125.01^{+0.02}_{-0.0275} \quad (2.8)$$

По конструкторской документации размер вершин профиля венца равен $\varnothing D = 125^{+0.03}_{+0.005}$. Как мы видим, поле допуска, назначенное конструктором меньше расчётного поля допуска, то есть точность передачи будет выше.

2.3 Расчет допуска паза сепаратора.

Допуск паза сепаратора в идеальном случае можно назначить исходя из линейного расширения тела качения, то есть в пределах 0,01 мм. В действительности изготовление детали с таким допуском вызовет удорожание изделия. А также возрастут требования к точности оборудования и квалификации персонала.

Для проведения исследования необходимо приблизить значения зазоров паза сепаратора исследуемых образцов к предпочтительным полям допусков для лучшей читабельности чертежа детали при изготовлении. При назначении качества будем исходить из технологической точности оборудования. Так как окна сепаратора обрабатываются на фрезерном станке с ЧПУ HAAS VF-5. Точностные характеристики станка приведены ниже:

Таблица 2.1 Характеристики станка HAAS VF-5.

Точность позиционирования, мм	$\pm 0,005$
Повторяемость, мм	$\pm 0,0025$
Люфт поворотного стола, град.	$\pm 0,004$

Из приведенных данных можно рассчитать максимальную погрешность станка по которой можно судить о назначении качества на допуск паза сепаратора. Люфт поворотного стола в пересчете на линейный размер на радиус наружного диаметра сепаратора составит $\pm 0,004$ мм.

Обработка пазов сепаратора будет производиться твердосплавной фрезой EB0306 пр-ва “HGT”. Диаметр режущей части $\varnothing=3$ мм, диаметр хвостовика $\varnothing=6$ мм. Допуск биения фрезы можно получить из ГОСТ 32405-2013, который составляет для фрез диаметром до 5 мм – 0,015 мм. Поскольку фреза будет устанавливаться в патрон типа WELLDON то посадка фрезы в патрон будет $6 \frac{H6}{h6}$, то есть максимальный зазор в соединении будет 0,016 мм.

Теперь рассчитаем размерную цепь для определения качества, при назначении поля допуска пазов сепаратора. Расчет будем выполнять методом полной взаимозаменяемости.

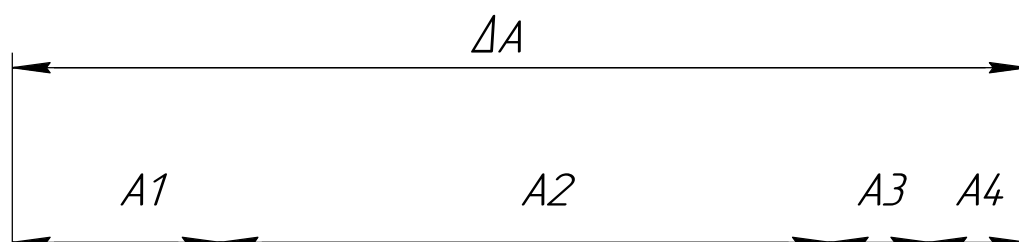


Рисунок 2.5 Размерная цепь для расчета допуска паза сепаратора.

где:

$$A1 = 0 \begin{smallmatrix} +0.004 \\ -0.004 \end{smallmatrix} \text{ допуск позиционирования по углу;}$$

$$A2 = \begin{matrix} +0,0025 \\ -0,0025 \end{matrix} \text{ допуск повторяемости станка;}$$

$$A3 = 0^{+0,015} \text{ допуск биения фрезы.}$$

$$A4 = 0^{+0,016} \text{ допуск посадки фрезы в патрон станка.}$$

$$T(A1) = 0.008, C(A1) = 0;$$

$$T(A2) = 0.005, C(A2) = 0;$$

$$T(A3) = 0.015, C(A3) = + 0,0075;$$

$$T(A4) = 0.016, C(A3) = + 0,008;$$

$$T(\Delta A) = T(A1) + T(A2) + T(A3) + T(A4) = 0.008 + 0.005 + 0.015 + 0,016 = 0.044 \quad (2.8)$$

$$C(\Delta A) = C(A1) + C(A2) + C(A3) = 0 + 0 + +0.0075 + 0.008 = 0.0155 \quad (2.9)$$

$$Es(\Delta A) = C(\Delta A) + \frac{T(\Delta A)}{2} = (0.0155) + \frac{0.044}{2} = 0.0375 \quad (2.10)$$

$$Ei(\Delta A) = C(\Delta A) - \frac{T(\Delta A)}{2} = (0.0155) - \frac{0.044}{2} = - 0.0065 \quad (2.11)$$

Таким образом получаем необходимый допуск паза сепаратора, который равен $\Delta = \begin{matrix} +0,0375 \\ -0,0065 \end{matrix}$. На этот допуск так же наложиться тепловой зазор рассчитанный ранее и окончательный допуск составит $\Delta = \begin{matrix} +0,0475 \\ +0,0035 \end{matrix}$, что для размера 8 будет соответствовать поле допуска G9.

2.4 Расчет усилия измерения.

Для получения корректных данных при измерении люфта необходимо рассчитать требуемое усилие измерения. Чтобы замерить люфт необходимо приложить такое усилие, которое бы не позволило вращаться валу двигателя. На входе изделия установлен тормоз (рисунок 2.7).

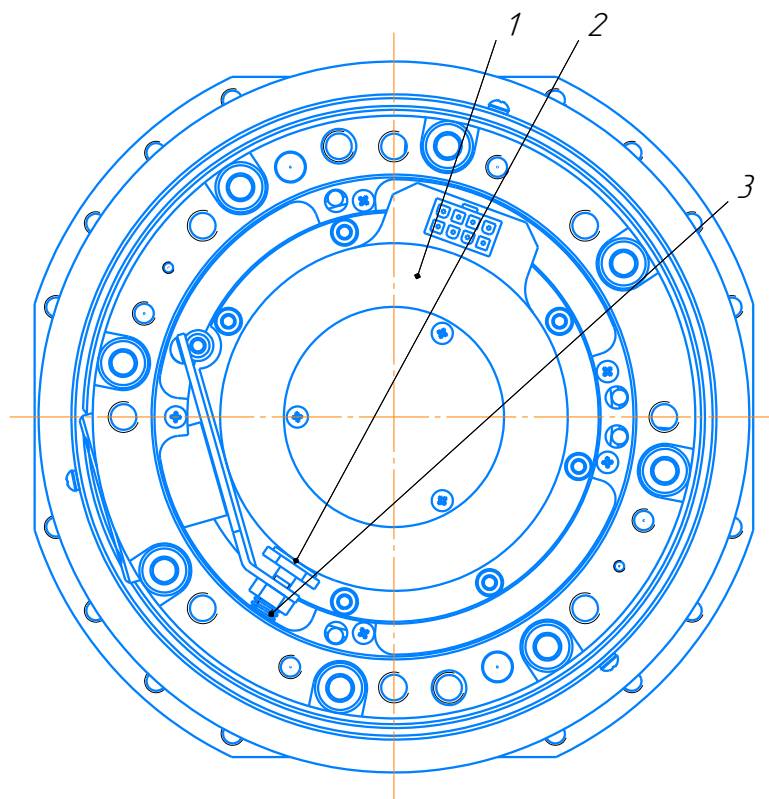


Рисунок 2.7 Устройство тормоза.

Тормоз состоит из подпружиненного рычага с фрикционной накладкой 2, который прижимается пружиной 3 к стальному корпусу двигателя 1 с усилием $F=11,5$ Н. Накладка изготовлена из асбеста 1-271-69ск, коэффициент трения по стали $\mu=0,4$. Накладка контактирует на радиусе $R=45$ мм.

Для расчета момента измерения люфта на выходном звене, необходимо рассчитать момент торможения, который удержит вал двигателя от проворота. Момент торможения рассчитаем по формуле:

$$M_t = R * F * \mu = 0,045 * 11,5 * 0,4 = 0,02 \text{ Нм} \quad (2.12)$$

Расчет измерительного момента вычислим по формуле:

$$M_{\text{вых}} = M_{\text{вх}} * U * \eta = 0.02 * 2483 * 0.9 = 45 \text{ Нм} \quad (2.13)$$

2.5 Методика расчета мертвого хода в зависимости от точности элементов передачи с ПТК.

На основе расчетов разделов 2.1-2.5 можем предложить методику проектирования точной радиальной волновой передачи с промежуточными телами качения.

1. Первой задачей является определение изменение геометрии в результате тепловых расширений элементов передачи. В результате этих расчетов мы сможем заложить в конструкцию необходимые зазоры как на профиль венца так и на отверстия сепаратора.
2. Второй задачей является определение поля допуска профиля венца. Для этого необходимо рассчитать размерную цепь радиального перемещения тела качения, в которую входят эксцентриситет генератора, генератор, тело качения и профиль венца.
3. Третьей задачей является расчет поля допуска отверстий сепаратора с учетом:
 - а. применяемого оборудования и режущего инструмента, а также технологии изготовления (производиться расчет технологической размерной цепи).
 - б. допустимого люфта выходного звена (расчет можно проводить как графически, так и на основе изложенной в главе 4 методике).

Вывод по главе.

В данной главе мы рассчитали основные параметры исследуемого редуктора, а также выстроили методику расчета мертвого хода в зависимости от точности элементов передачи с ПТК.

Глава 3. Исследовательская часть.

3.1 Описание способа контроля углового люфта.

Для замера углового люфта воспользуемся методом приведения числового значения люфта, измеренного на определенном радиусе, к угловым координатам, методом пересчета.

Как мы видим из конструкции изделия выходным звеном является профильный венец. Для контроля углового люфта в изделии необходимо спроектировать приспособление для жесткого удержания изделия на приспособлении, а также рычаг определенной длины для определения значения линейного перемещения рычага при нагружении выходного звена передачи. Схема замера углового люфта представлена на рисунке 3.1.

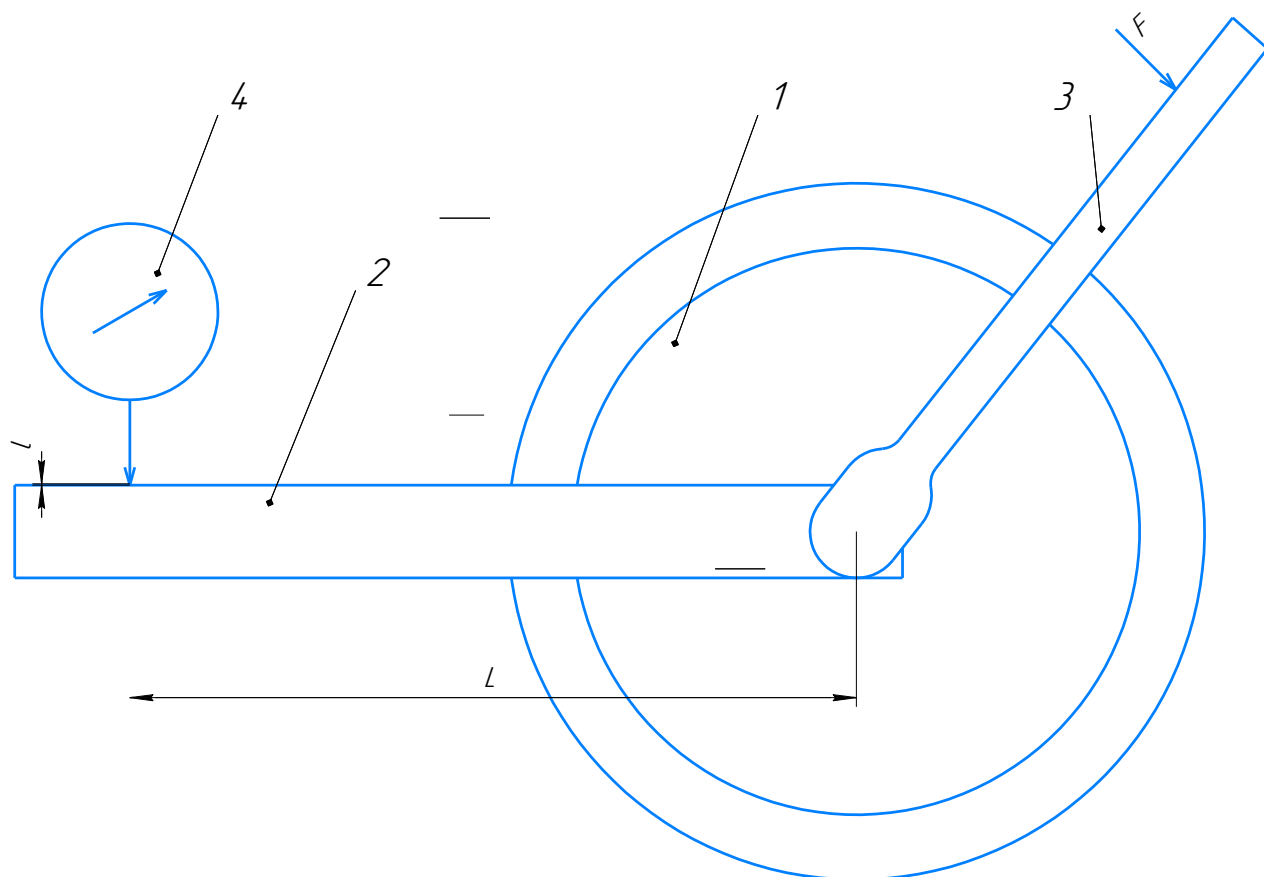


Рисунок 3.1 Схема замера углового люфта.

Изделие 1 жестко закреплено на приспособлении. На выходное звено закреплен рычаг 2 и ключ 3. К рычагу на длине L установлен индикатор часового типа. По показаниям индикатора получим значение l из которого сможем вычислить угловой люфт на плече L .

Так как изделие помимо контроля люфта проходит испытание на крутящий момент логичнее всего при проектировании приспособления совместить возможность за одну установку изделия на стенд совместить проверку холостого ход и испытание. Стенд для проведения испытаний представлен на рисунке 3.2

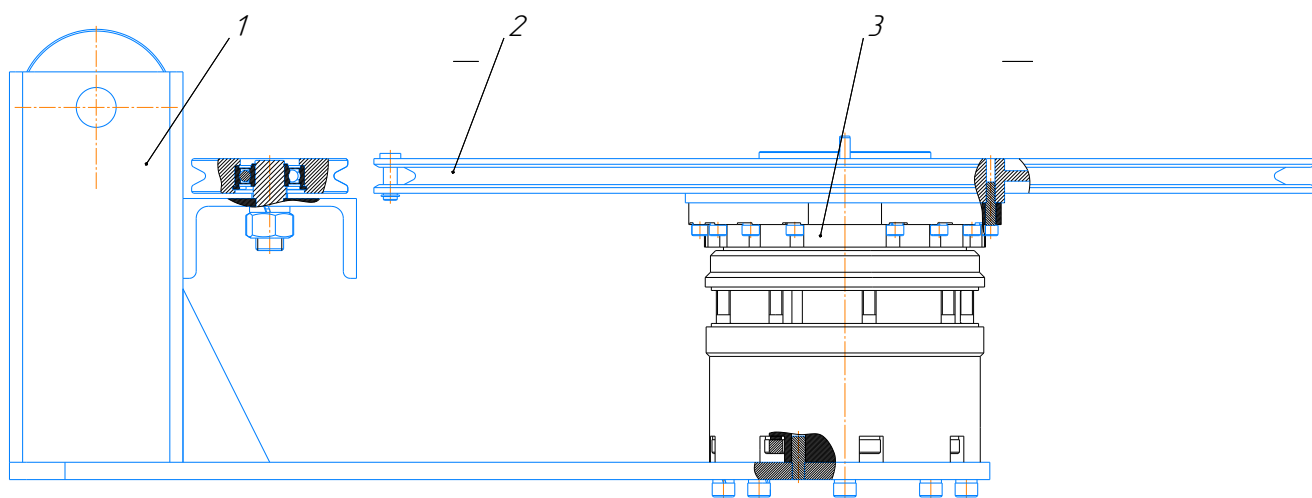


Рисунок 3.2 Стенд для проведения испытаний.

Как видим из рисунка 3.2 стенд для испытаний представляет собой площадку-основание на которой устанавливается изделие. Также на основании установлен кронштейн 1 с блоками для проведения силовых испытаний изделия. На изделие сверху устанавливается шкив 2 для проведения силовых испытаний. Для измерения люфта в изделии необходимо установить индикатор на гибкой магнитной стойке на кронштейне 1, а к шкиву приложить усилие P и измерить значение по индикатору на определенно радиусе.

3.2 Методика исследования.

Допуск пазов сепаратора в идеальной можно определить графически, построив модель идеальной передачи в CAD-системе и наложив на нее известные значения люфта передачи. Для определения допуска паза сепаратора ΔS (см. рисунок 3.3) построим модель идеальной передачи в CAD Компас 3D.

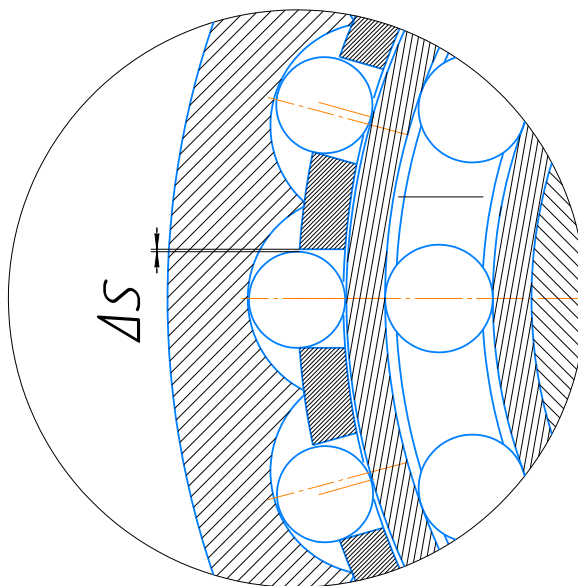


Рисунок 3.3 К расчету допуска паза сепаратора.

Как мы видим из расчета идеальной передачи допуск на размер паза сепаратора должен составлять 0,5 мм для получения заданного углового люфта $\pm 0,25$ градусов. Однако такой большой допуск на размер пазов приведет к тому, что не все тела передачи будут воспринимать нагрузку и не будут участвовать в передаче крутящего момента. В расчетной части мы рассчитали поле допуска пазов сепаратора выходного звена 8G9. Таким образом главными задачами исследовательской части являются экспериментальное подтверждение выбранного поля допуска пазов сепаратора техническим требованиям к угловому люфту изделия и изучение закономерности влияния действительного размера пазов сепаратора на угловой люфт.

Для проведения исследования планируется изготовить детали сепаратор в количестве 5 шт. с различным действительным размером паза. Допуск на размер паза рассчитан в САПР Компас с учетом получения разных угловых люфтов в выходном звене. В ходе исследования на одно изделие необходимо установить сепараторы выходной ступени с разными действительными размерами паза и вычислить действительное значение люфта.

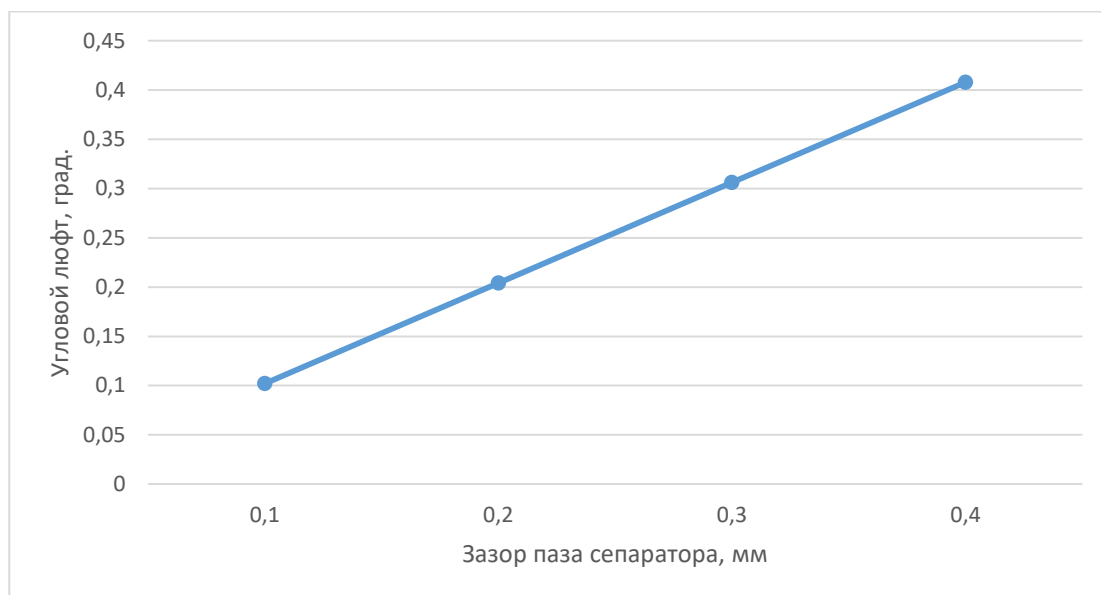
Построим в компас и определим графически необходимые размеры пазов сепаратора для исследования и занесем данные в таблицу. Для удобства измерения расчет проведем через 0,1 градуса. Наружный диаметр сепаратора составляет Ø116,87.

Таблица 3.1 Данные расчета зазора сепаратора.

Угловой люфт, градусов.	Зазор паза сепаратора, мм
0,1	0,102
0,2	0,204
0,3	0,306
0,4	0,408
0,5	0,51

По рассчитанным данным построим график зависимости:

График 3.1. Зависимость люфта выходного звена передачи от зазора паза сепаратора.



Как мы видим из графика зависимость углового люфта от зазора в сепараторе линейна.

3.3 Контроль и выборка исследуемых деталей.

Сепаратор изготавливается из стали 40Х с объемной закалкой 42...47 HRC. Чертеж сепаратора представлен на рисунке 4.4. Фрагмент операционной карты с описанием переходов фрезерования пазов представлен ниже.

100 Фрезерная с ЧПУ. Станок HAAS VF-5. (1,5) **5/1,55**

УП: JNKU_711352_011SEP_090_Z4

На оправке ПР22.1920.00-01(Изм.1). База – D87H7 и торец. Ориентация отв. d 8F8. Приспособление штифтом вверх. Выверить приспособление по базовому диаметру и торцу до 0,02 max. Выверить угловое расположение по лыске до 0,02. Предъявить ОТК.

Ноль детали по Y - центр пов. стола; по X – от торца d 95h6; по Z – от d 116,87h9. При установке нуля по Z убедиться, что d 116,87 обработан на чисто.

Внимание: точность привязки инструмента $\pm 0,015$ мм.

Не допускать появления заусенцев более 0,05, при появлении заменить РИ.

1. Фрезеровать 46 отверстий $8G9 \times 8,1^{+0,36}$ выдерживая p-ры $15,2 \pm 0,1$ и $17 \pm 0,1$ по чертежу.

Фреза D3 EB0306 пр-ва «HGT» №1.

$V=100$ м/мин.

$f=0,003$ мм/зуб.

$ap=4$

$ae=0,5$

Стойкость до замены – 6 дет.

2. Сверлить отв. D 3 на проход. выдерживая p-р $5,5 \pm 0,1$ и угол

концевых мер длины по ГОСТ 9038-90. Необходимую точность измерения в данном случае можно получить применением нутромера НИ 6-10-1 ГОСТ 868. Схема контроля на рисунке 3.5.



a)



б)

Рисунок 3.5 Схема контроля паза сепаратора. а – настройка нутромера, б – контроль размера паза.

В процессе изготовления были отобраны 5 сепараторов для проведения исследования с различными действительными размерами пазов. Их действительные размеры паза занесены в таблицу 3.2

Таблица 3.2 Действительные размеры паза сепараторов.

№ детали по порядку	Действительный размер паза, мм
1	8,035
2	8,01
3	8,025
4	8,04
5	8,015

Также для проведения исследования был отобран профильный венец, действительный размер которого близок к нижнему пределу и составляет $D=125,01$ (рисунок 3.6). Контроль размера производился нутромером НИ 6-10-1 ГОСТ 868 с удлинителем.



Рисунок 3.6 Замер размера профиля венца.

Для достижения наименьших отклонений ролики были отобраны селективно (рисунок 3.7). Контроль размера производился скобой рычажной СР 25 ГОСТ 11098-75.



Рисунок 3.7 Селективный отбор роликов.

Также для проведения исследования был отобран генератор, действительный размер которого близок к исполнительному и составляет $O=2,005^*$ (рисунок 3.8). Контроль размера производился в призме поверочной I-3-2 ГОСТ 5641-66 при помощи индикатора ИЧ10 кл.1 ГОСТ 577 закрепленного на штативе. Полученные значения индикатора необходимо разделить на 4.



Рисунок 3.8.Измерение эксцентриситета генератора.

3.4 Сборка и испытание изделия.

Согласно конструкторской документации для сборки изделия необходимо использовать ролики с разноразмерностью не более 2 мкм. для обеспечения данного требования ролики проходят селективный отбор. Сборка изделия проходит по ступеням. На конечном этапе устанавливаются профильный венец и корпус с двигателем. После сборки изделие проходит обкатку согласно методики. После обкатки изделие устанавливают на стенд для испытаний.

В процессе испытаний проводится замер углового люфта. Замер углового люфта производится на плече 250 мм. Прибор для измерения люфта индикатор ИЧ10 кл.1 ГОСТ 577 установлен на магнитной стойке на кронштейне (см. рисунок 3.10).

Замер проводится в следующей последовательности. Упереть ножку индикатора часового типа ИЧ10 кл.1 ГОСТ 577-68 в упор, зафиксированный на шкиве на радиусе 250 мм. Выставить на шкале индикатора ноль. К шкиву, через центральное отверстие, ключом моментным МТ-1-240 ГОСТ Р51254-99 приложить крутящий момент 50 Нм. Крутящий момент приложить в направлении против часовой стрелки, показание отклонения стрелки индикатора от нуля принять за L_1 . Затем крутящий момент приложить в направлении по часовой стрелке, показание отклонения стрелки индикатора от нуля принять за L_2 . Значения L_1 и L_2 в сумме равны длине хорды сегмента, на котором производится измерение (рисунок 3.9).

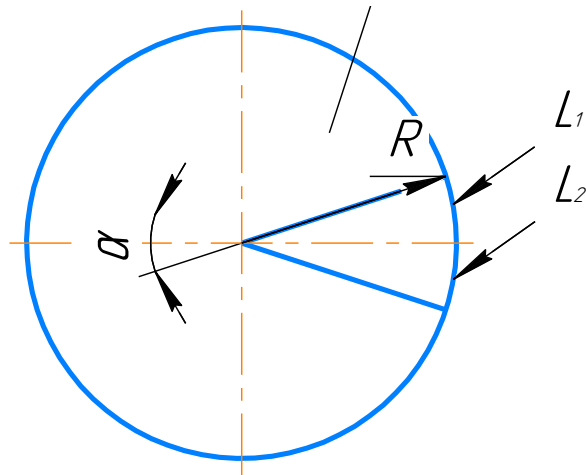


Рисунок 3.9 Графическая схема измерения люфта.

Вычислить суммарный угол поворота выходного звена можно по формуле угла сегмента:

$$\theta = \frac{L_1 + L_2}{R} \quad (3.1)$$

где число R радиус измерения; θ – суммарный угол поворота выходного звена, радиан.

При переводе радиан в градусы формула 3.1 примет вид:

$$\alpha = \frac{L_1 + L_2}{R * 0.017453} \quad (3.2)$$

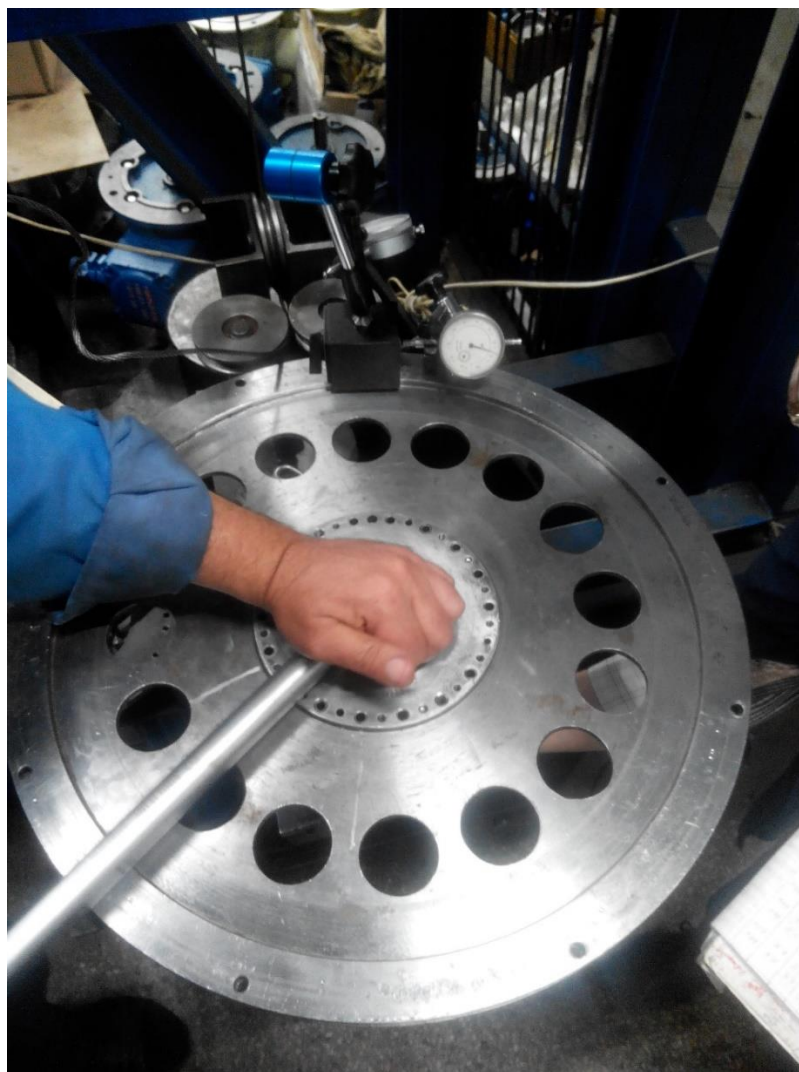


Рисунок 3.10 Замер углового люфта.

Произведем замер показаний L_1 L_2 для всех отобранных сепараторов и занесем данные замеров в таблицу.

Таблица 3.3 Приведение значений зазора

№ детали п/п	L_1 (мм)	L_2 (мм)
1	0,16	0,15
2	0,04	0,05
3	0,12	0,1
4	0,17	0,19
5	0,07	0,08

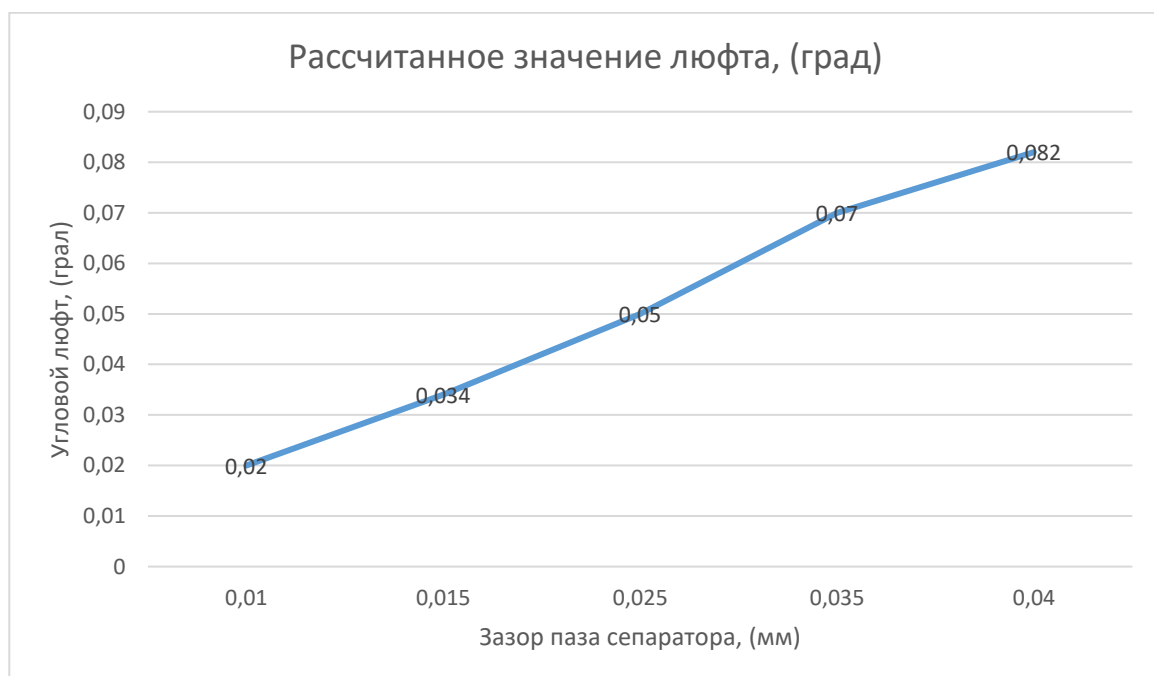
Произведем вычисление углового люфта по формуле 3.2 и занесем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 Рассчитанное значение углового люфта

№ сепаратора, п/п	Зазор сепаратора, (мм)	Рассчитанное значение люфта, (град)
1	0,035	0,07
2	0,01	0,02
3	0,025	0,05
4	0,04	0,082
5	0,015	0,034

По полученным данным построим график зависимости углового люфта от зазора сепаратора.

График 3.2 График зависимости углового люфта от зазора сепаратора.



Из графика 3.1 наблюдалась линейная зависимость углового люфта от зазора паза сепаратора, но по результатам эксперимента (график 4.2) графически зависимость не является линейной. Это обусловлено наличием

погрешности при измерении. Погрешность измерения индикатором ИЧ-10 кл.0 ГОСТ 577-87 на длине измерения до 10 мм составляет $\pm 0,003$ мкм.

Выводы по главе.

Проведенные исследования влияния углового люфта в волновой передаче с промежуточными телами качения зависят в большей степени от зазора в пазах сепаратора, причем эта зависимость линейна. Для достижения наибольшей точности передачи необходимо придерживаться следующих требований при проектировании:

1. Наличие минимального зазора в размерной цепи эксцентриковый генератор, тело качения, профильный венец.
2. Селективный отбор тел качения, что является следствием пункта 1.
3. Наличие минимального зазора паза сепаратора, максимально допустимого с технологической точностью оборудования.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
4AM82	Яконен Владимир Сергеевич

Школа	ИШНПТ	Отделение школы (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 «Машиностроение»

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Ресурсы ООО «СМК» (производственная площадка). Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников ООО «СМК».
---	---

<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	- районный коэффициент- 1,3; - накладные расходы – 16%
--	---

<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	- страховые взносы во внебюджетные фонды 30,2%
---	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ потенциальных потребителей, анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации
---	--

<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Формирование плана и графика проекта: - определение трудоемкости работ; - разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
---	---

<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Расчет сравнительной эффективности проекта
---	--

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

<i>Сегментирование рынка</i>
<i>Оценка конкурентоспособности технических решений</i>
<i>Матрица SWOT</i>
<i>Календарный план-график</i>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСТН	Якимова Татьяна Борисовна	К.Э.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM82	Яконен Владимир Сергеевич		

Глава 4.

Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

4.1 Общие сведения о научно-техническом исследовании

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по исследованию кинематической точности редуктора с ПТК. Для достижения цели в данном разделе выпускной квалификационной работы представлены результаты расчётов бюджета научного исследования, оценочная карта сравнения конкурентных технических решений, оценка сравнительной эффективности исследования, рассмотрены различные варианты рисков связанных с реализацией продукции на потребительском рынке.

Потенциальным потребителем результатов исследования может являться любое машиностроительное предприятие. В особенности производители редукторов и мультипликаторов. Поскольку редуктора используются практически в любой отрасли, где используются машины, то любому машиностроительному предприятию производителю данные результаты исследования будут представлять интерес. Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

4.2 Сегментирование рынка

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка – антенно-поворотное устройство. Заполнить данную нишу может разработанное антенно-поворотное устройство на основе редуктора с ПТК. На данной передаче уменьшается трение тел качения о профили, потому что тела качения обхватываются с обеих сторон профилями. За счет особенности редуктора, он испытывает меньшие нагрузки и способен передавать больший крутящий момент. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может

потребуется определенный товар. Предположительные сферы использования антенно-поворотного устройства на основе редуктора с ПТК – приборостроение, оборонная и нефтегазовые промышленности.

Таблица 4.1 – Карта сегментирования рынка

		Отрасли использования антенно-поворотного устройства		
		Оборонная промышленность	Нефтегазовая промышленность	Приборостроение
Компании	Крупные			+
	Средние	+	+	+
	Мелкие	+		+

Как видно из карты сегментирования, основным сегментом данного рынка является приборостроение, где требуются высокая мобильность, малая масса и размеры. Однако помимо приборостроения характеристиками исследуемого антенно-поворотного устройства могут пользоваться и другие отрасли.

4.3 Анализ конкурентных технических решений

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Таблица 4.2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _{к1}	Б _{к2}	К _{к1}	К _{к2}
1	2	3	4	5	6
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
1. Простота изготовления	20	4	4	40	40
2. Энергоэкономичность	5	2	3	20	30
3. Надежность	20	4	4	40	40
4. Материалоемкость	5	3	3	30	30
5. Широта области применения	15	4	4	40	40
Экономические критерии оценки эффективности					
6. Цена	20	3	3	30	30
7. Послепродажное обслуживание	5	3	4	30	40
8. Предполагаемый срок эксплуатации	10	4	4	40	40
Итого:	100	27	29	270	290

К1 – антенно-поворотное устройство с редуктором червячного типа

К2 – антенно-поворотное устройство с редуктором с ПТК

Наиболее целесообразно по технологическим и экономическим соображениям применение антенно-поворотного устройства с ПТК. Целесообразность применения данной передачи обуславливается простотой эксплуатации, а так же массой конструкции.

4.4 Анализ рисков

Риск продвижения продукта может заключаться в конкуренции с более дешевыми но менее эффективными аналогами. Среди отечественных производителей устройства в данном направлении производятся на основе червячной передачи, но при появлении разработанного антенно-поворотного устройства с редуктором с ПТК, возможно начало разработки ими конкурентных продуктов.

Так как детали производятся на зарубежном оборудовании, возможно удорожание себестоимости производства при изменении экономической или политической ситуации в стране.

Также существует риск малого спроса на изделие в некоторых сферах по причине замены средств радиосвязи на средства проводной связи, например в нефтегазовой промышленности.

4.5 SWOT-анализ

SWOT – Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – представляет собой комплексный анализ научно-исследовательского проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Таблица 4.3 - Матрица SWOT

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Возможность при определенных входных параметрах, выбрать оптимальную модель редуктора с ПТК или модель электродвигателя</p> <p>С2. Долгая служба механизма</p> <p>С3. Снижения затрат в эксплуатационный период</p> <p>С4. Простота эксплуатации</p>	<p>Сл1. Необходимость применения дорогостоящих смазочных материалов.</p> <p>Сл2. Сложный процесс изготовления и сборки в сравнение с обычными зубчатыми редукторами</p> <p>Сл3 Большие затраты на этапе производства.</p> <p>Сл4. Продукт ранее не производился отечественными производителями</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1 Использование гидроабразивной и электроэрозионной установки для получения профиля</p> <p>В2. В связи с последними политическими событиями наблюдается тенденция на импортозамещение в данной отрасли, при условии отсутствия отечественных конкурентов.</p> <p>В3. Возможность внедрения технологии в производство</p> <p>В4. Так как группа имеет знания и опыт в направлении редукторов с ПТК, то есть возможность улучшить свойства для других изделий.</p>	<p>С1В1 – возможность сокращения времени изготовления других механизмов, за счет использования технологии производства данного изделия</p> <p>С1В2 – вероятность расширения потенциальных потребителей</p> <p>С1В3 - упрощение внедрения технологии в производство за счет оптимальных значений сил в зацеплении</p> <p>С1В4 – возможность адаптации устройства к потенциальным потребителям в других сферах</p> <p>С2В2 – позволяют при наличии спроса быстро нарастить объемы производства.</p> <p>С3В2, С4В2 - качество изделия будет являться конкурентным преимуществом на российском рынке.</p>	<p>В1Сл1 – новейшее оборудование и компьютерное моделирование, позволит на ранних стадиях исследования, выявить и предотвратить появление брака</p> <p>В2Сл4 - может не быть быстрого продвижения на рынок так как ранее продукт не продавался, и потребители не знают о нем.</p> <p>В3Сл2Сл3 – может потребоваться значительное изменение технологического процесса изготовления деталей из-за их высокой стоимости при обработке</p> <p>В4Сл4 – появление дополнительного спроса в других сферах может быть мало из-за узкой специфики применения устройства</p>
Угрозы:	У1С1С2С3С4-возможность за	У1Сл2Сл4 – вероятность

<p>У1. Вероятность появления более выгодных предложений на рынке, так как в данном направлении ведется большое количество исследований.</p> <p>У2. Импортное оборудование и инструменты отечественных производителей для массового производства</p> <p>У3. Допущенные ошибки на этапе расчётов или проектирования могут привести к полной неработоспособности конструкции.</p> <p>У4. Узкий круг возможных потребителей при наличии на рынке дешёвых, но менее эффективных аналогов.</p>	<p>счет многофункциональности изделия создавать новые и более качественные универсальные изделия, а так же устойчивость к борьбе с конкурентами, за счет особенностей типа привода</p> <p>У2С2С3С4 – высокая точность изготовления деталей при минимальном расходе инструмента, а следовательно расходах на механическую обработку.</p> <p>У3С3 – исследование недостатков конструкции, поможет модернизировать уже производящиеся типы редукторов с ПТК</p> <p>У4С4 – возможность разработки новых типов приводов для определенных нужд конкретных сфер деятельности</p>	<p>появления более выгодных по цене, но менее эффективных продуктов от зарубежных производителей с традиционными типами редукторов</p> <p>У2Сл2. Проектируемый продукт может ещё не скоро выйти на рынок потребителей</p> <p>У3Сл1. В случае ошибки в расчётах, всю выполненную работу придётся начать с начала.</p> <p>У4Сл3. Низкий спрос продукции.</p>
--	---	--

Для успешной реализации продукции, придётся уделить большое внимание этапу проектирования, во избежание возможных конструкторских ошибок. Так же для уменьшения брака на всех этапах реализации потребуется привлечение новейшего оборудования. На данном этапе старта продукции на рынке сложно предугадать. Велика вероятность слабого старта продукции на потребительском рынке из-за низкого спроса. Однако при наличии хорошего спроса можно быстро нарастить объёмы продукции. Ещё не до конца известно, на сколько дороже или дешевле обойдётся данный продукт в сравнении с уже имеющимися аналогами на этапе производства и эксплуатации. Возможно продукция будет долго захватывать рынок потребителей, однако с большой вероятностью можно заявить, что рано или поздно данный механизм завоюет целевой рынок.

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта

Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	-	-	-
	В2	+	+	+	+
	В3	+	-	-	-
	В4	+	-	-	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта					
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	В1	+	-	-	-
	В2	-	-	-	+
	В3	-	+	+	-
	В4	-	-	-	+

Таблица 4.6 - Интерактивная матрица проекта

Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3	Сл4
	У1	-	+	-	+
	У2	-	+	-	-
	У3	+	-	-	-
	У4	-	-	+	-

Таблица 4.7 - Интерактивная матрица проекта

Слабые стороны проекта					
Угрозы		С1	С2	С3	С4
	У1	0	0	0	0
	У2	0	0	0	0
	У3	-	-	+	-
	У4	-	-	-	+

На основе результатов анализа матрицы можно сделать вывод, что трудности и проблемы, с которыми может столкнуться данный проект можно будет решить за счет имеющихся сильных сторон исследования.

4.6 Определение возможных альтернатив проведения научных исследований

Для определения возможных альтернатив проведения НИР необходимо провести морфологический анализ. При изготовлении устройства возможны два варианта исполнения. Эти варианты представлены в табл. 5.8.

Таблица 4.8 – Морфологический анализ

Наименование	Варианты	
А. По типу электропитания	60В	24В
Б. По использованию смазки	Жидкая	Пластичная

По данным занесенным в таблицу 4.8 можно выделить две принципиальные конструкции устройства: А1Б1 – исполнение 1; А2Б2 – исполнение 2.

4.7 Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования. Проект разбивается на этапы выполнения, для распределения задач с целью распределения заработной платы.

Таблица 4.9 – План научно – исследовательской работы

Основные этапы	№	Описание работы	Должность исполнителя
Постановка целей и задач	1	Постановка цели и задач, необходимо которые выполнить для достижения	Руководитель
Разработка технического задания	2	Составление и утверждение задания технического	Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного обзора	Студент
Теоретические и экспериментальные исследования Разработка технологической документации	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Инженерные расчеты размерных цепей	Студент
	6	Исследование редуктора	Студент
	7	Исследование влияния бокового зазора пазов сепаратора	Студент
	8	Рекомендации по назначению допуска паза сепаратора и использованию смазочных материалов	Студент
Оформление отчета	9	Оформление пояснительной записки по результатам исследования	Студент

Таблица 4.10 - Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
1	2	3
Постановка целей и задач	НР	НР – 100%
Разработка и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 20% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 40%
Поиск и анализ аналогичных устройств	НР, И	НР – 20% И – 100%
Инженерные расчеты размерных цепей	НР, И	НР – 20% И – 100%
Исследование редуктора	И	И – 100%
Исследование влияния бокового зазора пазов сепаратора	И	И – 100%
Проведение исследований	НР, И	НР – 20% И – 100%
Оформление пояснительной записки	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 60% И – 100%

Для выполнения перечисленных в таблице 4.10 работ требуются специалисты: инженер «И» (исполнитель ВКР); научный руководитель «НР».

4.8 Расчет трудоемкости НИР

Трудоемкость НИР оценивается экспертным путем в человекоднях и носит вероятностный характер. Она зависит от большого числа факторов. Чтобы рассчитать среднее значение воспользуемся формулой:

$$t_{\text{ож}} = \frac{3t_{\text{min } i} + 2t_{\text{max } i}}{5} \quad (4.1)$$

где $t_{\text{ож } i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы, чел.-дней.;

$t_{\text{min } i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения данной i -ой работы, чел.-дней.;

$t_{\text{max } i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения данной i -ой работы, чел.-дн.

Продолжительность любой работы в рабочих днях T_p определяется исходя из ожидаемой трудоемкости данных работ, которая учитывает, что работы будут выполняться несколькими исполнителями параллельно. Такие расчеты необходимы для обоснованных подсчетов заработной платы (ЗП), по причине того, что удельный вес ЗП в окончательной сметной стоимости НИР составит около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i} \quad (4.2)$$

где T_{pi} – длительность одной работы, рабочих дней;

$t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дней.

$Ч_i$ – число исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Таблица 4.11 - Ожидаемое время выполнения работы

Основные этапы	№ Раб		$t_{ож}$, чел.-дн.
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	3,2
Выбор направления исследований	2	Изучение материалов по теме	9,8
	3	Проведение патентного обзора	3,8
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Составление принципиальной схемы	3,2
	5	Инженерные расчеты размерных цепей	3,2
	6	Исследование редуктора	11
	7	Исследование влияния бокового зазора пазов сепаратора	15,8
	8	Рекомендации по назначению допуска паза сепаратора и использованию смазочных материалов	8,4
Оформление отчета	9	Заполнение пояснительной записки	4,6
Итого:			63,0

Не является необходимым расчет продолжительности одной работы в связи с тем, что на каждом этапе работы задействован только один исполнитель, то есть $T_p = t_{ож}$.

График проведения НИР построим по форме диаграммы Ганта. Для удобства построения, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней необходимо перевести в календарные дни.

$$T_{ki} = T_{pi} + k_{кал} \quad (4.3)$$

где T_{ki} - продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;
 T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих
 днях; $k_{\text{кал}}$ - коэффициент календарности.

Коэффициент календарности НИР определяется следующим
 соотношением:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} \quad (4.4)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Результаты расчетов временных показателей приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.12 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	Длительность работ в рабочих днях, T_p	Длительность работ в календарных днях, T_k
	t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$			
Составление и утверждение ТЗ	2	5	3,2	Руководитель	3,2	5
Изучение материала по теме	7	14	9,8	Магистрант	9,8	15
Проведение литературного обзора	3	5	3,8	Магистрант	3,8	6
Составление принципиальной схемы	2	5	3,2	Магистрант	3,2	5
Составление принципиальной схемы	2	5	3,2	Магистрант	3,2	5
	5	14	11	Магистрант	11	14
Выполнение расчетов	10	17	15,8	Магистрант	15,8	17
Расчет размерных цепей	7	14	8,4	Магистрант	8,4	14
Заполнение пояснительной записки	3	7	4,6	Магистрант	4,6	7
Итого руководитель					3,5	5
Итого магистрант					59,8	83

$$k_{\text{кал}} = \frac{366}{366 - 105 - 14} = 1,49$$

Таблица 4.13 - Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ работ	Вид работ	Исполнители	T_k	Продолжительность выполнения работ						
				Март	Апрель			Май		
				3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Соводитель	2							
2	Изучение материалов по теме	Магистрант	2							
3	Проведение патентного обзора	Магистрант	3							
4	Составление принципиальной схемы	Магистрант	6							
5	Выполнение расчетов	Магистрант	6							
6	Расчет размерных цепей	Магистрант	7							
7	Расчет зазора в передаче	Магистрант	7							
8	Исследование редуктора	Магистрант	7							
9	Заполнение пояснительной записки	Магистрант	3							

Расчет материальных затрат НТИ

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) * \sum_{i=1}^m C_i * N_{расх\ i} \quad (4.5)$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх\ i}$ количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.); C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

Значения цен на материальные ресурсы могут быть установлены по данным, размещенным на соответствующих официальных сайтах в интернете предприятиями-изготовителями (либо организациями-поставщиками).

Основные материальные затраты, необходимые для устройства, заносятся в таб. 4.14.

Таблица 4.14 - Материальные затраты

Наименование	Ед. изм.	Количество		Цена за ед., руб.		Затраты на материалы, руб.	
		Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2
Сепаратор первой ступени	шт.	1	1	5400	5400	5400	5400
Подшипник	шт.	1	1	650	650	650	650
Корпус	шт.	1	1	9480	9480	9480	9480
Водило	шт.	1	1	1540	1540	1540	1540
Сателлит	шт.	3	3	290	290	870	870
Вал	шт.	1	1	1050	1050	1050	1050
Венец первой ступени	шт.	1	1	4270	4270	4270	4270
Сепаратор второй ступени	шт.	1	1	4600	4600	4600	4600
Ролик 5x5	шт.	51	51	7	7	357	357
Ролик 8x8	шт.	46	46	12	12	552	552
Венец второй ступени	шт.	1	1	9200	9200	9200	9200
Двигатель 24 В	шт.	1	-	6000	-	6000	-
Двигатель 60 В	шт.	-	1	-	9200	-	9200
Итого расходы на материалы						43969	47169

4.9 Основная заработная плата исполнителей

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов. Расчет основной заработной платы сводится в табл. 4.15.

Таблица 4.15 - Расчет основной заработной платы

№ п/п	Наименование этапа	Исполнители	Трудоемкость чел.-дн, руб	Заработная плата на один чел.- дн., тыс. руб.	Всего заработная плата по тарифу, тыс. руб.
1	Составление и утверждение ТЗ	Руководитель	3,2	2272	7270,4
2	Изучение материалов в по теме	Магистрант	9,8	1428	13994,4
3	Проведение литературного обзора	Магистрант	3,8	1428	5426,4
4	Составление принципиальной схемы	Магистрант	3,2	1428	4569,6
5	Расчеты размерных цепей и допусков	Магистрант	3,2	1428	4569,6
6	Исследование редуктора	Магистрант	11	1428	15708
7	Исследование влияния зазоров	Магистрант	15,8	1428	22562,4
8	Рекомендации по повышению кинематической точности	Магистрант	8,4	1428	11995,2

Данная статья включает в себя основную ЗП работников, которые непосредственно заняты выполнением данной НИР, (включая доплаты и премии) а так же включая дополнительную ЗП:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (4.6)$$

где

$Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (30 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная ЗП руководителя от предприятия рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (4.7)$$

где

$З_{\text{осн}}$ – основная ЗП одного работника;

T_p – продолжительность работ, которые выполняет НТР, раб. дн.

$З_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата НТР, руб.

Среднедневную ЗП можно рассчитать по формуле:

$$З_{\text{дн}} = \frac{З_m \cdot M}{F_d}$$

где

$З_m$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без учета отпуска в течение одного года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени НРТ, раб. дн.

(табл. 4.16).

Таблица 4.16 - Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	366	366
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	105	105
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
отпуск	48	48
невыходы по болезням	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	195	195

$$З_{\text{дн1}} = \frac{42600 \cdot 10,4}{195} = 2272 \text{ руб.} - \text{ЗП руководителя за один день.}$$

$$З_{\text{дн2}} = \frac{24862,5 \cdot 11,2}{195} = 1428 \text{ руб.} - \text{ЗП студента за один день.}$$

$$З_{\text{осн1}} = 2272 \cdot 3,2 = 7270,4 \text{ руб.} - \text{руководитель;}$$

$$З_{\text{осн2}} = 1428 \cdot 55,2 = 78825,6 \text{ руб.} - \text{студент.}$$

Дополнительная заработная плата исполнителей

Затраты на дополнительную заработную плату исполнителей учитывают величину доплат за отклонение от нормальных условий труда, которые предусмотрены Трудовым законодательством Российской Федерации, а также выплаты, связанные с обеспечением гарантий и компенсаций. Дополнительная зарплата рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (4.8)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплаты (на стадии проектирования он принимается равным 0,15 – 0,2).

$$З_{\text{доп1}} = 0,2 \cdot 7270,4 = 1454,08 \text{ руб. – руководитель.}$$

$$З_{\text{доп2}} = 0,2 \cdot 78825,6 = 15765,12 \text{ руб. – студент.}$$

Отчисления во внебюджетные фонды

Размер отчислений во внебюджетные фонды можно рассчитать по формуле, руб:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (4.9)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (обязательное медицинское страхование, пенсионный фонд и др.).

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 4.17.

Таблица 4.17. Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	7270,4	1454,08
Студент-дипломник	78825,6	15765,12
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30,2%	30,2%
Итого	31201,19	

Оплата работ сторонним организациям.

Расчет данных расходов включает в себя затраты, связанные с выполнением работ по НИР сторонними организациями.

Необходимо рассчитать контрагентные расходы проекта. Под данную статью расходов попадают расходы на оплату труда токаря и фрезеровщику с ЧПУ в ООО «СМК». В таблице 4.18 представлены данные оплаты труда токаря.

Таблица 4.18 – Контрагентные расходы

№ п/п	Профессия	Количество деталей	Количество работников	Разряд рабочего
1	Токарь с ЧПУ	1	1	5
2	Фрезеровщик с ЧПУ	1	1	5
3	Оператор электроэрозионного станка	1	1	6

Для сборки устройства необходимо собрать 12 элементов. Заказ будет выполняться в сторонней организации. Оклад токаря и фрезеровщика в сторонней организации 18650 р. Оклад оператора электроэрозионного станка 23600 р. На выполнение работ отводится 1 день. Подсчитаем зарплату токаря, фрезеровщика с ЧПУ и оператора электроэрозионного станка за 1 день в сторонней организации. Результаты расчетов представлены в таблице 4.19. Заработная плата рассчитывается по методике из разд. 4.3, отчисления во внебюджетные фонды по методике 4.4.

Таблица 4.19 - Оплата труда сторонних исполнителей

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Токарь с ЧПУ	1071,18
Фрезеровщик с ЧПУ	1071,18
Оператор электроэрозионного станка	1355,48
Общая заработная плата	3677,84
Отчисления во внебюджетные фонды	1103,35

Для токаря и фрезеровщика:

$$З_{\text{дн}} = \frac{18650 \cdot 11.2}{195} = 1071,18 \text{ руб.}$$
$$З_{\text{осн}} = 1071,18 \text{ руб}$$

Для оператора электроэрозионного станка:

$$З_{дн} = \frac{23600 \cdot 11.2}{195} = 1355,48 \text{ руб.}$$

$$З_{осн} = 1355,48 \text{ руб}$$

$$З_{зп} = 1071,18 \cdot 2 + 1355,48 + 180 = 3677,84 \text{ руб}$$

$$З_{внеб} = 30\% \cdot 3677,84 = 1103,35 \text{ руб}$$

4.10 Накладные расходы

Накладные расходы - это расходы, которые учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: оплата услуг связи, печать, ксерокопирование материалов по НИР, почтовые и телефонные расходы, расходы электроэнергии и т.д. Величина этих расходов определяется по формуле:

$$З_{накл} = (\text{сумма статей } 1 - 7) \cdot k_{нр} \quad (4.10)$$

где $k_{нр}$ – коэффициент накладных расходов. Коэффициент накладных расходов принимаем в размере 16%.

Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.

Рассчитанные затраты по научно-исследовательской работе являются основой для формирования бюджета затрат НИР, который в свою очередь при формировании договора с заказчиком, необходимо защитить научной организацией как нижний предел затрат на разработку данной научно-технической продукции. Определение бюджета затрат на НИР по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.20.

Таблица 4.20 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.		Примечание
	Исп.1	Исп.2	
1. Материальные затраты НТИ	43969	47169	Таблица 5.14
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	86096	86096	Таблица 5.17
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	17219,2	17219,2	Таблица 5.17
4. Отчисления во внебюджетные фонды	31201,19	31201,19	Таблица 5.17
5. Контрагентские расходы	4781,19	4781,19	Таблица 5.19
6. Накладные расходы	29322,65	29834,62	16 % от суммы ст. 1-5
7. Бюджет затрат НТИ	212589,23	216301	Сумма ст. 1- 6

4.11 Определение финансовой, социальной, ресурсной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности проводят на основе расчета интегрального показателя эффективности НИР. Нахождение эффективности связано с определением двух средневзвешенных величин: ресурсоэффективности и финансовой эффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности НИР рассчитывают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. С этой целью наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу для расчета и с ним соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется по формуле:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп } i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (4.11)$$

где

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.1}} = \frac{212589,23}{216301} = 0,983$$

$$I_{\text{исп.2}}^{\text{финр}} = \frac{216301}{216301} = 1$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i * b_i \quad (4.12)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения изделия;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – балльная оценка i -го варианта исполнения разработки, которая устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы (табл. 4.21).

Таблица 4.21 - Сравнительная оценка вариантов исполнения

Критерии \ Объект исследования	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность	0,3	4	5
2. Долговечность в использовании	0,3	4	5
3. Регулировка	0,1	5	5
4. Переналадка	0,1	5	5
5. Надежность	0,25	5	5
ИТОГО	1	4,62	5,25

$$I_{p-\text{исп1}} = 4 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 = 4,65$$

$$I_{p-\text{исп2}} = 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,25 = 5,25$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется, основываясь на интегральном показателе ресурсоэффективности и интегральном финансовом показателе по формуле:

$$I_{\text{исп.}i} = \frac{I_{p-\text{исп.}i}}{I_{\text{исп.}i}^{\text{финр}}} \quad (4.13)$$

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{4,62}{0,984} = 4,69$$

$$I_{\text{исп.2}} = \frac{5,25}{1} = 5,25$$

Сравнение вариантов исполнения разработки и интегрального показателя эффективности, позволит определить сравнительную эффективность проекта (см. табл.4.22) и сделать выбор наиболее целесообразного варианта из предложенных.

Таблица 4.22 - Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,983	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,65	5,25
3	Интегральный показатель эффективности	4,69	5,25
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	Исп1/Исп2=0,89	Исп2/Исп1=1,12

Из таблицы 4.22 мы видим, что более эффективный вариант решения поставленной в данной работе технической задачи по многим показателям является исполнение номер 2.

Выводы по главе

В процессе выполнения данного раздела был определен целевой рынок, для исследуемого устройства. Также был проведен анализ конкурентов, который показал, что проектируемое устройство довольно конкурентоспособное. В разделах данной главы также рассчитаны материальные затраты на изготовление объекта исследования, затраты на отчисления во внебюджетные фонды, основную и дополнительную зарплату, накладные расходы, контрагентные расходы, на основании которых был составлен бюджет затрат на НИР. Также в ходе работы произведена сравнительная характеристика эффективности объекта исследования на основании интегрального показателя эффективности. По результатам таблицы 4.22 мы можем сделать вывод о наибольшей эффективности второго исполнения устройства.

Глава 5. Социальная ответственность

5.1 Описание рабочего места

Работа представляет собой сбор и обработку информации, а также проведение расчётов и составление рекомендаций, с учетом полученных данных. Исследовательская работа выполняется в закрытом помещении (кабинет, аудитория) на персональном компьютере, с помощью которого обрабатывается вся полученная информация.

Рабочее место располагается в кабинете технологического бюро ООО «СМК», на 1 этаже, помещение представляет собой комнату размером 10х6м, высотой 3,5м. В помещении находятся 11 персональных компьютеров, климатическая установка.

При проведении научной исследовательской работы меры по охране труда на рабочем месте при работе с персональным компьютером должны носить комплексный характер и включать в себя спектр работ, направленных на ликвидацию источников вреда.

В данном разделе дипломного проекта рассматриваются следующие вопросы:

- организация рабочего места пользователя ПК;
- определение оптимальных условий труда пользователя ПК.

Рабочее место оборудовано персональным компьютером и жидкокристаллическим монитором.

При проектировании рабочих мест необходимо рационально сочетать рабочие элементы, а именно учитывать освещенность рабочего места, температуру, влажность, давление и шум в рабочем помещении, наличие вредных веществ, электромагнитных полей, а также соблюдать другие санитарно-гигиенические требования, предъявляемые к организации рабочих мест.

При проектировании лаборатории необходимо уделять особое внимание охране окружающей среды, в том числе организации безотходного производства.

Также нельзя исключать возможность возникновения чрезвычайных ситуаций. Так как исследовательская лаборатория находится в городе Томске, наиболее типичной чрезвычайной ситуацией является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных чрезвычайных ситуаций может быть диверсия. Необходимо четко знать и строго выполнять порядок действий при угрозе и возникновении чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и не допускать действий, которые могут вызвать угрозу жизни и здоровью персонала.

5.2 Анализ условий труда на рабочем месте

Персональный компьютер, безусловно, увеличивает производительность выполнения проводимой работы, но, в то же время, отрицательно воздействует на здоровье человека. Основной задачей в данном разделе является снижение возможности причинения вреда здоровью человека при использовании им персонального компьютера в работе.

Наиболее существенными факторами условий труда пользователя, работающего за компьютером, являются: санитарно-гигиенические (освещение, температура воздуха, относительная влажность, скорость движения воздуха, запыленность рабочего места, шум, тепловые и электромагнитные излучения), психофизиологические (рабочее место, поза, перемещения в пространстве, продолжительность непрерывной работы, режим работы, напряжение зрения, нервно-эмоциональная и интеллектуальная нагрузка), технические (безопасность оборудования).

Анализ показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;

3) скорость движения воздуха.

При высокой температуре воздуха в помещении кровеносные сосуды кожи расширяются, происходит повышенный приток крови к поверхности тела, и выделение тепла в окружающую среду значительно увеличивается. При низкой температуре окружающего воздуха реакция человеческого организма иная: кровеносные сосуды кожи сужаются, приток крови к поверхности тела замедляется, и теплоотдача конвекцией и излучением уменьшается. Таким образом, для теплового самочувствия человека важно определенное сочетание температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне.

Повышенная влажность воздуха ($\phi > 85\%$) затрудняет терморегуляцию организма, т.к. происходит снижения испарения пота, а пониженная влажность 56 ($\phi < 20\%$) вызывает пересыхание слизистых оболочек дыхательных путей.

Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне должны соответствовать значениям, приведенным в таблице 14 [ГОСТ 12.1.005-88].

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата должны быть использованы защитные мероприятия, направленные на нормализацию теплового состояния организма работающего, например, в холодный период года применяются средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения, в теплый период года - защита от попадания прямых солнечных лучей.

На основе общих энергозатрат организма работа делится на три категории тяжести.

Работа инженеров-разработчиков относится к категории легких работ. Допустимые значения микроклимата для данного случая приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Требования к микроклимату

Период года	Категория работы	Температура, °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Средняя	19-24	15-75	≤0,1
Теплый	Средняя	20-28	15-75	≤0,2

Для оптимизации микроклимата в производственном помещении необходимо обеспечить надлежащий воздухообмен в помещении, теплоизоляцию нагретых поверхностей производственного оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

Кабинет технологического бюро ООО «СМК» оборудован климатической установкой, приточной и вытяжной вентиляцией.

Анализ показателей шума и вентиляции

Вентиляция производственных помещений необходима для оздоровления условий труда, повышения производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний, так как она уменьшает запыленность и задымленность производственного помещения, очищает воздух от вредных выделений производства.

Проветривание помещения осуществляется с помощью приточно-вытяжной вентиляции. Проветривание помещений в холодный период года возможно не более одного раза в час, при этом нельзя допускать снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Не допустить распространение вредных веществ по помещению можно, если улавливать вредные вещества в местах их выделения. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых

современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. Кабинет, в котором проводится исследовательская работа находится отдельно от производственных площадей в связи с чем этот параметр соответствует значению 50 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть средства коллективной индивидуальной защиты.

Средства коллективной защиты

- устранение причин шума или значительное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды изолирующими и поглощающими средствами;
- Применение средств индивидуальной защиты, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;
- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

Анализ освещенности рабочей зоны

Согласно СНиП 23-05-95 в помещении, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения составляет не ниже 150 Лк.

Для повышения уровня работоспособности и производительности труда, а также оказания положительного психологического действия на

человека необходимо правильно проектировать и выполнять освещение в производственном помещении.

В кабинете технологического бюро ООО «СМК» расположены 10 потолочных светильников. Помещение соответствует нормам СНиП 23-05-95.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $A = 10$ м, ширина $B = 6$ м, высота $= 3,5$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 1,0$ м. Согласно СНиП 23-05-95 необходимо создать освещенность не ниже 200 лк, в соответствии с разрядом зрительной работы.

Площадь помещения кабинета технологического бюро ООО «СМК»:

$$S = A \times B,$$

где A – длина, м; B – ширина, м. $S = 10 \times 6 = 60 \text{ м}^2$

Площадь помещения кабинета технологического бюро ООО «СМК» составляет 30 м^2 .

При наличии побеленных стен с окнами без штор коэффициент отражения равен $\rho_C = 50\%$, побеленного потолка равен $\rho_{П} = 70\%$. Учитывая загрязнение светильника в помещении с небольшим выделением пыли, коэффициент запаса равен $K_z = 1,5$. При установленных люминесцентных лампах коэффициент неравномерности равен $Z = 1,1$.

Выбираем лампу белой цветности ЛБ-40, со световым потоком ФЛД = 2800 Лм, светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40, которые имеют две лампы мощностью 40 Вт каждая, (длина - 1227 мм, ширина - 265 мм).

За интегральный критерий оптимальности расположения светильников возьмем величину λ , которая для люминесцентных

светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. При условии, если $\lambda=1,1$, расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,1$ м. Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = h_n - h_p,$$

где h_n – высота светильника над полом, высота подвеса,

h_p – высота рабочей поверхности над полом.

В этом случае наименьшая допустимая высота подвеса над полом для двухламповых светильников ОДОР: $h_n = 3,5$ м.

Высота светильника над рабочей поверхностью определяется по формуле:

$$h = H - h_p - h_c = 3,5 - 1 - 0,1 = 2,4 \text{ м}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 2,4 = 2,64 \text{ м}$$

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = L/3 = 2,64/3 = 0,88 \text{ м}$$

где L – оптимальное расстояние между светильниками.

Число рядов светильников в помещении:

$$N = \frac{B - 2l}{L} + 1 = \frac{6 - 2 \cdot 0,88}{2,64} + 1 = 2,5 \approx 2$$

Число светильников в ряду:

$$N_c = \frac{A - 2l}{L} + 1 = \frac{10 - 2 \cdot 0,88}{2,64} + 1 = 4,01$$

Общее число светильников: $N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 4 = 8$

План помещения с размещёнными в нём светильниками изображен на рисунке 4.1

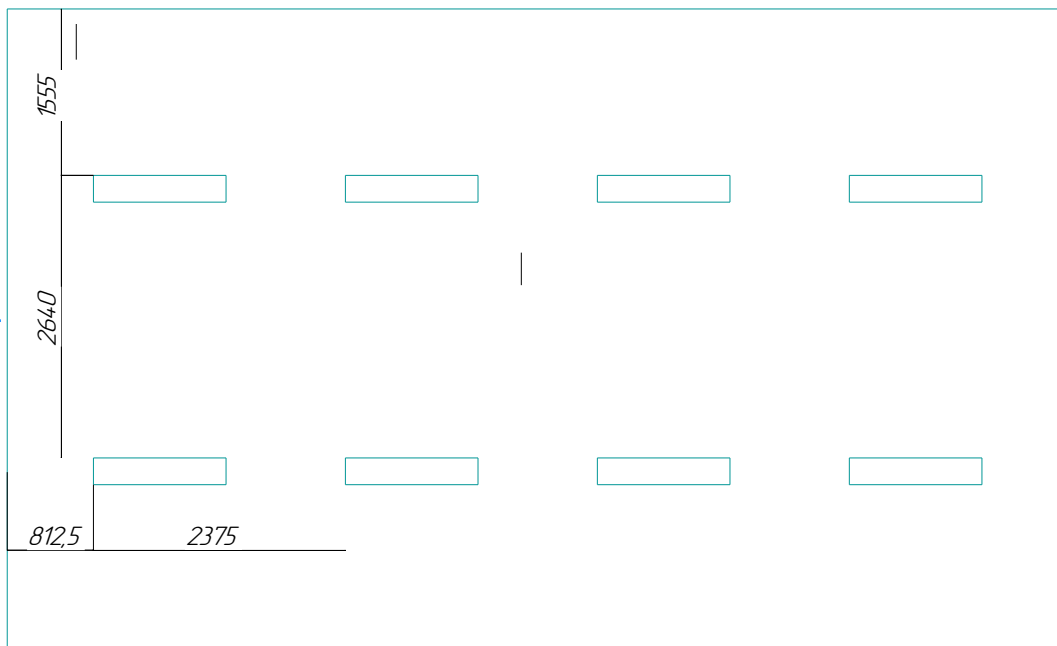


Рис. 6.1– План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A * B}{h * (A + B)} = \frac{10 * 6}{2.4 * (10 + 6)} = 1.56$$

Какая часть светового потока от ламп попадет на рабочую поверхность определяет коэффициент использования светового потока. Для применяемых в данном случае светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_{\text{П}} = 70 \%$, $\rho_{\text{С}} = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,56$ равен $\eta = 0,47$.

Формула определения потребного светового потока группы люминесцентных ламп светильника:

$$\Phi = \frac{E * Z * k_3 * A * B}{N * \eta} = \frac{200 * 1,1 * 1,5 * 10 * 6}{8 * 0,47} = 5256 \text{ Лм}$$

Проверка выполнения условия:

$$-10\% \leq \text{ФЛД} - \text{ФП} \cdot 100\% \leq 20\%$$

$$\text{ФЛД} - \text{ФП} \cdot 100\% = 2800 * 8 - 5625 \cdot 100\% = 5,99\%$$

Таким образом: $-10\% \leq 5,99\% \leq 20\%$, необходимый световой поток

светильника не выходит за пределы требуемого диапазона.

Фактическое расположение светильников в кабинете технологического бюро ООО «СМК» соответствует расчетному плану.

5.3 Анализ выявленных опасных факторов производственной среды

Факторы электрической природы

Электробезопасность - это система организационных и технических мероприятий и средств, которые обеспечивают защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества.

Классификация

При проведении исследовательской работы в рабочем кабинете отсутствует токопроводящий пол и другие подобные среды повышенной опасности. Поэтому помещение рабочего кабинета относится к классу «Малоопасные помещения поражения электрическим током».

Суммарное сопротивление заземления (локального + всех повторных + заземления трансформатора/генератора) при подключении локального заземления к нейтрали трансформатора/генератора в системе TN должно быть не более 4 Ом (ПУЭ 1.7.101). Напряжение в этом случае составляет менее 36 В, сила тока - менее 0,1 ампера.

Средства коллективной защиты.

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности электромагнитного излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование электромагнитного источника;
- защита рабочего места от электромагнитного излучения;

Техника безопасности.

- Без необходимости часто не включать и выключать компьютер.
- Не прикасаться к экрану и к тыльной стороне блоков компьютера.
- Не работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании мокрыми руками.
- Не работать на средствах вычислительной техники и периферийном оборудовании, имеющих нарушения целостности корпуса, нарушения изоляции проводов.
- При неисправной индикации включения питания, с признаками электрического напряжения на корпусе, класть на средства вычислительной техники и периферийное оборудование посторонние предметы.
- Запрещается под напряжением очищать от пыли и загрязнения электрооборудование.
- Запрещается проверять работоспособность электрооборудования в непригодных для эксплуатации помещениях с токопроводящими полами, сырых, не позволяющих заземлить доступные металлические части.
- При обнаружении неисправности немедленно обесточить электрооборудование. Продолжение работы возможно только после устранения неисправности.
- При обнаружении оборвавшегося провода необходимо немедленно принять меры по исключению контакта с ним людей. Прикосновение к проводу опасно для жизни.
- Во всех случаях поражения человека электрическим током немедленно вызывают врача.
- До прибытия врача нужно, не теряя времени, приступить к оказанию первой помощи пострадавшему.

- После окончания работы необходимо обесточить все средства вычислительной техники и периферийное оборудование.
- В случае непрерывного производственного процесса необходимо оставить включенными только необходимое оборудование.

5.4 Факторы пожарной и взрывной природы

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории Ан, Бн, Вн, Гн и Дн. Согласно НПБ 105-03 кабинет технологического бюро ООО «СМК» относится к категории В3 – пожароопасное.

В связи с тем, что помещение, в котором проводится исследовательская работа выполнено из кирпича, который относится к трудно сгораемым материалам, по степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85.

Причины возникновения пожара при работе с электронной аппаратурой могут быть как электрического, так и неэлектрического характера.

Причинами возникновения пожара неэлектрического характера может быть халатное неосторожное обращение с огнем (оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня).

В кабинете технологического бюро ООО «СМК» установлена климатическая установка с автоматической регулировкой температурного режима;

Причинами возникновения пожара электрического характера может послужить короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и прочее.

Все оборудование, находящееся в кабинете технологического бюро ООО «СМК» заземлено.

Мероприятия, которые должны проводиться для устранения причин возгорания и локализации пожаров в помещении лаборатории:

а) при работе должно использоваться только исправное оборудование;

б) систематическое проведение инструктажей по пожарной безопасности;

в) по окончании работ, а также в случае отсутствия обслуживающего персонала электрооборудование, освещение и электропитание должно быть отключено;

г) курение в строго отведенном месте;

д) пути и проходы к эвакуационным выходам должны содержаться в свободном состоянии.

До прибытия пожарной команды для локализации или ликвидации возгорания используются первичные средства пожаротушения, такие как:

Огнетушители водо-пенные (ОХВП-10) - используются для тушения очагов пожара без наличия электроэнергии;

Огнетушители углекислотные (ОУ-2) и порошковые (ОП-5) огнетушители – используются для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Порошковые огнетушители применяют также для тушения документов.

Здание (строение, сооружение) должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно:

- в здании должна быть установлена охранно-пожарная сигнализация,

- на каждом этаже здания должны быть размещены не менее двух переносных огнетушителя, которые располагаются на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м, при этом размещение огнетушителей в коридорах и переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей;

- на каждом этаже здания должен быть размещен план эвакуации, порошковых или углекислотных огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (рис.5.2).



Рис. 5.2 – План эвакуации ООО «СМК».

5.5 Охрана окружающей среды

Большое количество предприятий неблагоприятно сказывается на окружающей среде. Пока невозможно полностью избавиться или значительно сократить количество мусора, грамотная утилизация отработанных изделий (сырья и т.д.) поможет поддерживать экологию в норме.

Утилизация картриджей

ООО «СМК» заключен договор со специализированной организацией на оказание услуг по сервисному обслуживанию и утилизации картриджей. ООО «СМК» предоставляется специальная тара для хранения отработанных изделий. При накоплении использованных картриджей производится сбор, сервисное обслуживание (заправка картриджей), либо, при необходимости, дальнейшая утилизация.

Утилизация люминесцентных ламп

В соответствии с постановлением Правительства РФ «Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп» от 3 сентября 2010 г. N 681 перегоревшие люминесцентные лампы собираются сотрудниками отдела снабжения ООО «СМК» и сдаются в районный РЭУ, где установлены специальные контейнеры.

Утилизация макулатуры

В процессе производства образуется большое количество бумажных отходов. ООО «СМК» собирает макулатуру и сдает ее в пункт переработки макулатуры.

5.6 Защита в чрезвычайных ситуациях

Производство находится в городе Томске с континентальным климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы, наводнения и т. д.), в месте исследования и производства – корпус 16А НИ ТПУ отсутствуют.

Возможными чрезвычайными ситуациями на объекте в данном случае, могут быть сильные морозы, штормовой ветер и диверсия.

Для Сибирского Федерального округа в зимнее время года характерны морозы. При понижении температуры воздуха до критических показателей возможны аварии на системах теплоснабжения и жизнеобеспечения, что приводит к приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. Для обеспечения непрерывной работы на предприятиях должны быть предусмотрены запасные обогреватели, количества и мощности которых должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась.

Все чаще возникают чрезвычайные ситуации в результате диверсий. Как правило, такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии на ООО «СМК» предприятие

оборудовано круговой системой видеонаблюдения, а также доступ на предприятие обеспечивается наличием СКУД (система контроля управления доступом). На предприятии с полугодовой периодичностью проводятся тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

5.7 Правовые нормы

Согласно трудовому кодексу РФ и СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03: продолжительность рабочего дня не превышает 40 часов в неделю; время работы за компьютером не превышает 6 часов за смену; делаются периодические перерывы в работе за ПК продолжительностью 10-15 минут через каждые 45-60 минут работы; во время перерывов выполняются комплексы упражнений и осуществляется проветривание помещения.

Государственный санитарно-эпидемиологический надзор за производством и эксплуатацией ПЭВМ осуществляется в соответствии с СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Производственный контроль за соблюдением санитарных правил осуществляется организациями, эксплуатирующими ПЭВМ.

Существуют также специализированные органы, осуществляющие государственный контроль и надзор в организациях на предмет соблюдения 69 существующих правил и норм. К таким органам относятся: Федеральная инспекция труда; Государственная экспертиза условий труда Федеральная служба по труду и занятости населения (Минтруда России Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору (Госгортехнадзор, Госэнергонадзор, Госатомнадзор России)); Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Госсанэпиднадзор России) и др.

При исследовании редуктора время работы за компьютером не превышало установленные нормы. Перерывы в работе за ПК

осуществлялись за счет смены деятельности.

5.8 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Большое значение имеет рациональная конструкция и расположение элементов рабочего места, что важно для поддержания оптимальной рабочей позы человека – оператора.

В процессе работы, все используемые предметы находятся в зоне досягаемости. Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости приведено на рисунке 5.3.

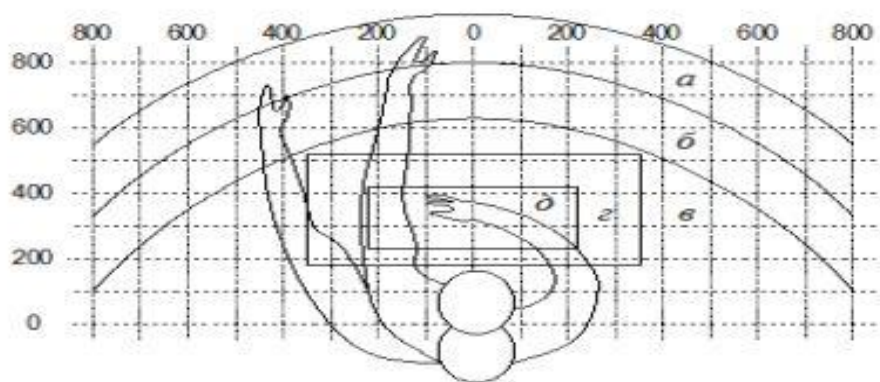


Рис. 5.3 - Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости.

На рисунке введены следующие обозначения: а - зона максимальной досягаемости; б - зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в - зона легкой досягаемости ладони; г - оптимальное пространство для грубой ручной работы; д - оптимальное пространство для тонкой ручной работы.

Монитор размещен в зоне а (в центре), системный блок размещен в предусмотренной нише стола, клавиатура – в зоне г/д, «мышь» – в зоне в (справа); документация, необходимая при работе – в зоне легкой досягаемости ладони – в, а в выдвижных ящиках стола – литература, неиспользуемая постоянно.

Для повышения комфорта в процессе работы за ПЭВМ, следует соблюдать нормы и требования, изложенные в СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03.

Выводы по разделу

В результате выполнения раздела «Социальная ответственность» были исследованы правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности. Проанализирована производственная безопасность, выявлены опасные и вредные факторы, были проанализированы мероприятия по снижению воздействия этих факторов. Рассмотрены вопросы экологической безопасности и безопасности в ЧС. Полученные результаты могут быть применены на производстве.

Помещение, в котором производится исследование соответствует категории ВЗ. Освещение в помещении соответствует расчетным данным. Рассмотрены негативные факторы, влияющие на безопасность труда при проведении исследования, определены средства и мероприятия для обеспечения пожарной безопасности.

Кабинет технологического бюро ООО «СМК» соответствует требованиям пожарной безопасности, производственный корпус ООО «СМК» оснащён эвакуационными выходами, огнетушителями и схемами эвакуации, электрическая сеть имеет линию заземления. Освещение в аудитории соответствует нормам СНиП 23-05-95.

Заключение

В результате проделанной работы выполнены исследования влияния допуска деталей на мертвый ход редуктора с ПТК. Разработана методика достижения наибольшей кинематической точности волновой передачи с промежуточными телами качения. Продемонстрирована практическая применимость данной методики.

Рассчитанные углы мертвого хода превосходят технические характеристики антенно-поворотного устройства в несколько раз, что может судить о заложенной в конструкцию изделия более высокой точности изготовления деталей, что подтверждено стендовыми испытаниями.

В работе даны рекомендации по снижению себестоимости детали сепаратор при серийном изготовлении, расчетным методом доказана возможность расширения поля допуска паза сепаратора, что в свою очередь снижает требования к оборудованию, средствам контроля и персоналу.

Методика расчетов допусков в различных деталях машин, описанные в работе, могут быть легко воспроизведены и модернизированы для расчета различных вариантов конструкций редукторов с ПТК. На основе методики расчета мертвого хода, можно произвести некую стандартизацию данных передач по мертвому ходу по аналогии с зубчатыми передачами.

Список литературы

1. Беляев, А.Е. Механические передачи с шариковыми промежуточными телами /А.Е. Беляев. — Томск: ТПУ, 1992. — 231с.
2. Иванов, М.Н. Волновые зубчатые передачи /М.Н. Иванов. — Москва: Высшая школа, 1981. — 184с.
3. Борзидов, Б.М. Волновые зубчатые передачи: достижения и результаты /Б.М. Борзидов. — Москва: Редукторы и приводы, 2006. — 26-28с.
4. Янгулов, В.С. Детали машин. Волновые и винтовые механизмы и передачи : учебное пособие для магистратуры /В.С. Янгулов. — Москва: Юрайт, 2019. — 183с.
5. В.С. Янгулов, А.Е. Беляев. Расчёт мёртвого хода волновых передач с промежуточными телами качения. Известия Томского политехнического университета. 2008. Т. 313. № 3.
6. SIMACO - Сибирская машиностроительная компания [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://smc.tomsk.ru/>, свободный
7. ООО НПО "Сибирский машиностроитель" [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <http://www.nposibmach.ru/>, свободный
8. Крылов Н. В. Исследование жёсткости и прочности волновой передачи с телами качения электромеханического силового привода летательного аппарата. Московский авиационный институт. 2002. – С.20-26.
9. А.В.Кудрявцев, Л.Г.Муханин, Ю.В.Федоров. «Основы взаимозаменяемости» Санкт-петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики. 2010. 10-26.
- 10.А. И. Аристов. Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы. Москва. ИНФРА-М. 2012. 255с.
- 11.Показатели, определяющие кинематическую точность зубчатого колеса [Электронный ресурс] /. — Электрон. журн. — Режим доступа: <https://helpiks.org/2-2220.html>, свободный
- 12.В. В. Никонов. КОМПАС-3D: создание моделей. 2008. 53с.

13. В.С. Янгулов. Геометрические и конструктивные соотношения в волновых передачах с промежуточными телами качения. Известия Томского политехнического университета. 2008.
14. А.В. Шмелев. Численное исследование напряженно-деформированного состояния подшипников качения /А.В. Шмелев, С.Ю. Котов. — Гомель: Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого №1, 2017. — 27-32 с.
15. М. Е. Лустенков. Передачи с промежуточными телами качения: определение и минимизация потерь мощности. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет. 2010. — 30-33 с.
16. В.С. Янгулов. Проектирование передач с линейными перемещениями выходного звена. Издательство Томского политехнического университета. 2011. — 10-12с.
17. В. Г. Мороз. Решение размерных цепей методом полной взаимозаменяемости. Московский государственный индустриальный университет. Москва. 2005 — 11-14с.
18. С. А. Чернавский, К.Н. Боков, И. М. Черний, Г. М. Ицкович, В. П. Козинцов. Курсовое проектирование деталей машин. Москва. Издательство «Машиностроение», 1987 — 6-20с.
19. Г. Л. Баранов. Методические указания по курсам «Детали машин и основы конструирования» "Механика" УПИ, 2005, 47 с.
20. Алямовский, А.А. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике /А.А. Алямовский. — Москва: БХВ-Петербург, 2009. — 274с.
21. А. Ф. Ковалев. Расчет зубчатых передач. Подразделение оперативной полиграфии Владимирского государственного университета. Владимир — 1998 - 7, 48-68 с.
22. В.Д. Брицкий, М.А. Ноздрин, Г.Б. Заморуев, Б.П. Тимофеев, В.В. Биндюк, С.С. Резников, Ю.С. Монахов, М.В.Абрамчук, М.С. Ларин, Проектирование передаточного механизма — СПб: СПбГУ ИТМО, 2010. — 155 с.
23. М. В. Абрамчук. Расчет параметров точности эвольвентных цилиндрических зубчатых передач. Изв. вузов. приборостроение. 2018. Т. 61, № 2.

Нормативные ссылки

1. ГОСТ 23108-94. Редукторы волновые зубчатые одноступенчатые. Основные параметры;
2. ГОСТ 12.0.001-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Основные положения;
3. ГОСТ. Сталь качественная и высококачественная. Сортовой и фасонный прокат. Калиброванная сталь. Сборник гостов. Часть 1.. - М.: Стандартов, 1990. - 408 с.
4. ГОСТ 12.0.003-2015. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;
5. ГОСТ 12.1.003-2014. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности;
6. ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;
7. ГОСТ 12.1.019-2017. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
8. ГОСТ 12.1.029-80. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства и методы защиты от шума. Классификация;
9. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
10. ГОСТ Р 51337-99. Безопасность машин. Температуры касаемых поверхностей. Эргономические данные для установления предельных величин горячих поверхностей;
11. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение;
12. СП 51.13330.2011. Защита от шума;
13. СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение;
14. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий. Санитарные нормы;

- 15.СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
- 16.СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки;
- 17.СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- 18.СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах.

Приложение А

(обязательное)

Раздел 1

Исследовательский (1.5)

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ82	Яконен Владимир Сергеевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Шибинский К. Г.			

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
	Кобзева Н.А.	к.п.н.		

1.5 Gear Backlashes

In mechanics, backlash means free play, that is, the minimum amount of movement of the transmitting element of a mechanical system, which is required to obtain the response of a controlled element of the system. Therefore, the size of backlash determines the degree of movement or rotation of the control element, which does not lead to changes in the controlled system. The higher the backlash, the greater the impact you need to apply to the control to make at least some change in the control object.

Backlashes in teeth gears have a big impact on the accuracy of automatic control systems. An increase of system amplification factors in the presence of backlashes leads to a deterioration in their stability. With the growth of backlash, undamped oscillations (self-oscillations) occur in regulation systems, the elimination of which presents significant technical difficulties. Therefore, in the process of designing a transmission, it is necessary to choose such a design of the gearbox and to establish such tolerances at which the backlash has the lowest values.

The presence of backlashes in the gears is due to the presence of clearances in the linking parts. The clearances, in turn, can be both structurally necessary elements and can be a defect in the part or transmission that arose during the manufacturing or assembling process.

1.6 Backlashes in Teeth Gears

Backlashes in teeth gears have a big impact on the accuracy of automatic control systems. An increase of system amplification factors in the presence of backlashes leads to a deterioration in their stability. With the growth of backlash, undamped oscillations (self-oscillations) occur in regulation systems, the elimination of which presents significant technical difficulties. Therefore, in the process of designing a transmission, it is necessary to choose such a design of the gearbox and to establish such tolerances at which the backlash has the lowest values.

The backlash in the transmission occurs due to lateral clearances in the wheels and the presence of elastic deformation of the shafts and wheels. The amount of

lateral clearance depends on the degree of accuracy of the manufacture of the wheels and the accuracy of maintaining the intercenter distance.

The value of the lateral clearance is that in the steady state operation, the gears have a higher temperature than the body and expand more than the distance between their supports increases, since heat is generated in the contact zone of the teeth and is removed through the plane. This expansion difference must be compensated for by the lateral clearance. It is also necessary to create normal lubrication conditions, to compensate for errors in the manufacture and installation of the gear, to limit the freeze when reversing the gear.

In determining the norms of the lateral clearance, it is accepted that the clearance tolerance should depend on the size of the guaranteed clearance, i.e. the larger the guaranteed clearance, the greater the clearance tolerance. This allows you to expand the field of tolerances for the manufacture of gears with large guaranteed clearances.

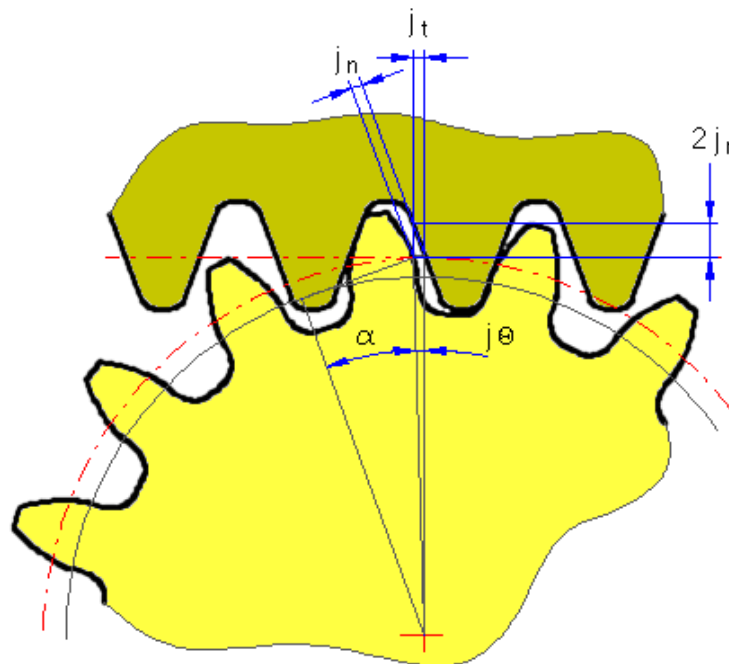


Fig. 1.10. To the determining of lateral clearance of the pair of wheels

The guaranteed lateral clearance is denoted by J_n and is limited by the tolerance T_i .

The nominal position of the original contour is its conditional position relative to the axis of rotation of the wheel, corresponding to dense (clearance-free) gear engagement at the nominal position of the initial contour of the second wheel and the nominal axial distance.

In practice, this is the position of the gear cutting tool (modular worm cutter, cutter, slats, etc.) relative to the wheel blank on the machine, in which the thickness of the tooth of the wheel will have a nominal design value that provides tight engagement with the pair of wheels with a nominal thickness of its teeth and a nominal intercenter distance .

To compensate for errors in the manufacture and installation of wheels, a guaranteed lateral clearance is created, which is achieved by shifting the gear cutting contour into the wheel body, ensuring that the actual tooth thickness is less than the nominal one.

An additional displacement of the initial contour E is an additional displacement of the initial contour from its nominal position into the body of the gear wheel, which is carried out with the aim of ensuring a guaranteed lateral clearance in the transmission (Fig. 1.11).

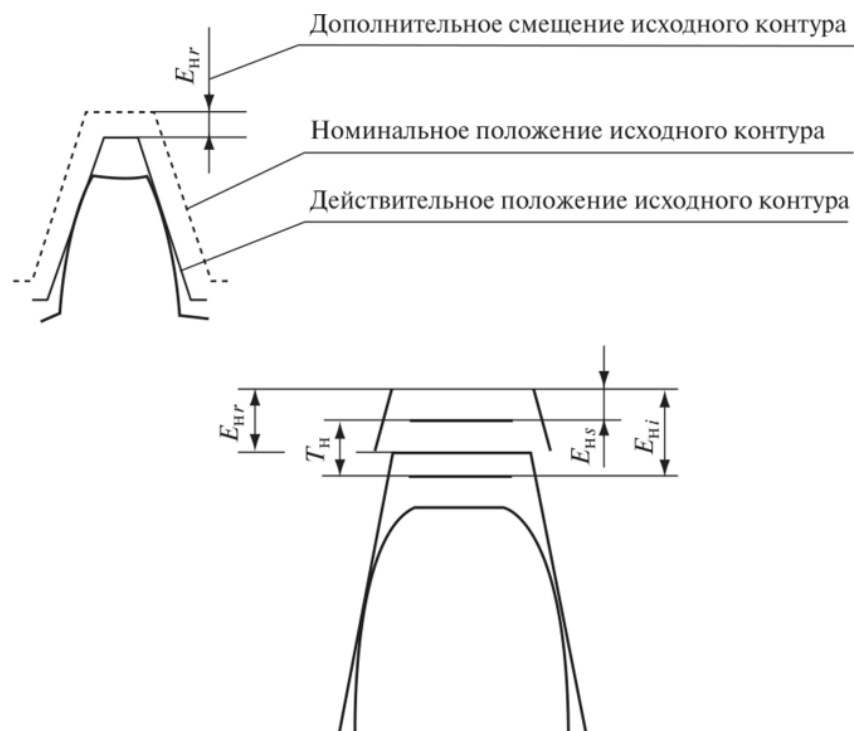


Fig. 1.11. The maintaining of lateral clearance

The smallest value of this displacement is assigned in the form of a dependence of the degree of accuracy according to the norms of smoothness and the type of linking and is indicated by:

- for gears with external teeth -EHs;
- for gears with internal teeth + Er

The maximum deviations of the measuring axial distance (upper + $E_{a''s}$ and lower $-E_{a''i}$ - the difference between the largest or correspondingly smallest measuring and nominal axial distances (Fig. 1.12).



Fig. 1.12. The measuring axial distance

The nominal measuring axial distance is understood as the axial distance for the clearance-free engagement of the measuring wheel with a controlled one that has the smallest additional offset of the original contour and devoid of errors.

Regardless of the degree of accuracy (Fig. 1.13) of the teeth wheels and gears, six types of teeth wheels linkings in gears A, B, C, D, E, H and eight types of tolerance T_{jn} on the lateral clearance x, y, z, a, b, s, d, h .

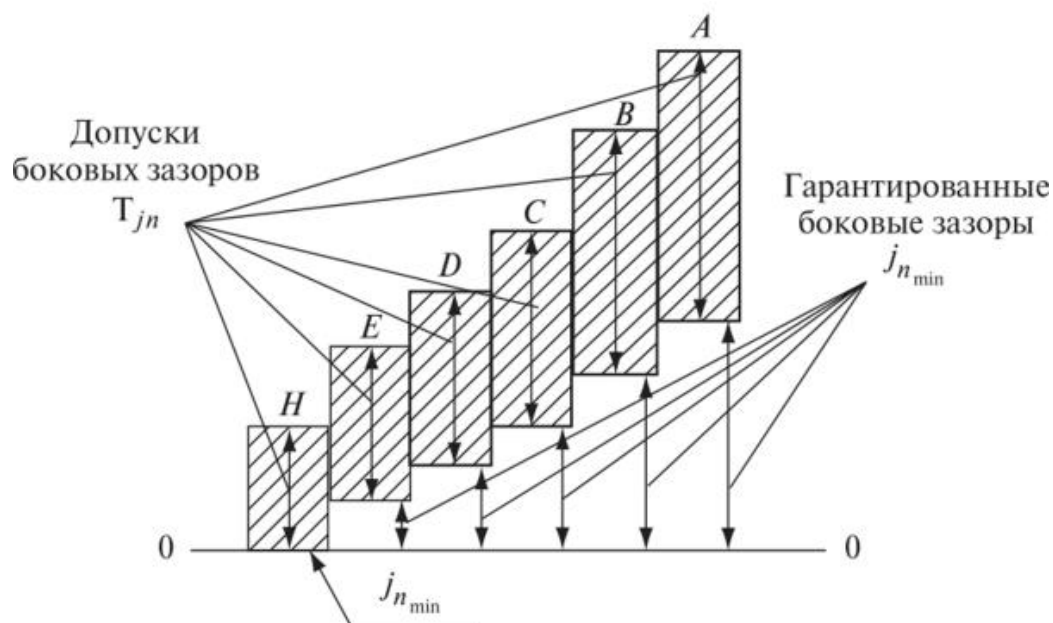


Fig. 1.13. Types of linkings and lateral clearance tolerances

Table 1.1 Types of linkings and degrees of accuracy

Types of linkings	Range of degrees of kinematic accuracy of gears
A (increased clearance)	3-12
B (standart clearance)	3-11
C (reduced clearance)	3-9
D (small clearance)	3-8
E (very small clearance)	3-7
H (zero clearance)	3-7

In the absence of special requirements, the types of linkings H and E correspond to the type of tolerance on the lateral clearance h , and the types of linkings D, C, B, A, - to d , c , b , a respectively.

It is allowed to change the correspondence between the type of linking of gears and the type of tolerance on the lateral clearance. In this case, the types of tolerances x , y , z can be used.

Six classes of axial distance deviations are established, denoted in decreasing order of accuracy by Roman numerals I, II, III, IV, V, VI.

Guaranteed lateral clearance in each pair is ensured subject to the specified classes of deviations of the axial distance (for class N and E, class II, and for class D, C, B, A of classes III, IV, V and VI, respectively) (table 1.2) .

Table 1.2. Recommended accuracy standards

Degree of accuracy	Type of linking	Tolerance of lateral clearance	Class of deflections of axial distance
3-7	H	h	II
3-7	E	h	II
3-8	D	d	III
3-9	C	c	IV
3-11	B	b	V
3-12	A	a	VI